С. В. Межжерін
Я. О. Межжеріна
Т. В. Коршевнюк

Біологія

(Профільний рівень)
підручник для 10 класу
загальноосвітніх навчальних закладів

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Київ
«Видавництво «Планета книжок»
2010

ББК 28.0я721
М43

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ Міністерства освіти і науки України № 177 від 03.03.2010 р.)

ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО

Автори розділів та частин підручника: ***С. В. Межжерін***, доктор біологічних наук, професор: «Загальна характеристика живої природи», «Молекулярний рівень організації живої природи», «Клітинний рівень організації живої природи»; ***Я. О. Межжеріна***: семінарські заняття, колоквіуми; ***Т. В. Коршевнюк***, кандидат педагогічних наук, ст. науковий співробітник: практичні та лабораторні роботи, завдання до підготовки до контролю знань, тематика лабораторного практикуму.

Методичний апарат *Я. С. Фруктової, Т. В. Коршевнюк*
Художник *І. П. Медведовська*

Психолого-педагогічну експертизу проводив Інститут педагогіки НАПН України.

Експерти:
Н. В. Трещова — вчитель-методист ЗОШ № 10, м. Сімферополь;
Т. В. Буджак — вчитель-методист ліцею № 3 медичного профілю, м. Чернівці;
В. Я. Гришко — методист вищої категорії відділу освіти Полтавської РДА;
Є. М. Янкова — вчитель-методист, Методичний кабінет відділу освіти Канівської районної державної адміністрації Черкаської обл.;
М. О. Колесник — кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:

Перевірте себе — запитання першого та другого рівнів складності;

Як ви вважаєте? — запитання третього та четвертого рівнів складності;

! — загальні висновки.

Межжерін С. В.
М43 Біологія: (профіл. рівень): підруч. для 10 кл. загальноосвіт. навч. закл. / С. В. Межжерін, Я. О. Межжеріна, Т. В. Коршевнюк. — К.: Планета книжок, 2010. — 336 с.: іл.
ISBN 978-966-2329-02-5.

ББК 28.0я721

ISBN 978-966-2329-02-5



Шановні старшокласники!

У десятому класі ви починаєте вивчати нові біологічні дисципліни, які дозволять не тільки поглибити, систематизувати та узагальнити вже набуті знання про найпростіших, гриби, рослини, тварин, організм людини, а й відкрити нові, ще невідомі вам, факти про живих істот, їх молекулярний склад та клітинну будову, зрозуміти, як вони дихають і живляться, ростуть і розмножуються, відчувають і рухаються.

Ви дізнаєтеся, що життя можна розглядати як неймовірно складний і надзвичайно злагоджений «оркестр» хімічних реакцій, зрозумієте, як з'їдений вами пиріжок перетворюється на тепло тіла, і усвідомите механізм одного з найдивовижніших процесів у природі — перетворення неорганічних речовин на органічні в рослинах за допомогою сонячного світла. Здивуєтеся, коли на уроках біології — науки про життя — вивчатимете, на перший погляд, зовсім неживі об'єкти — віруси.

Ви — одне з найперших поколінь школярів, кому стане відома будова пріонів, загадка яких в останні роки бентежила розуми вчених усього світу. Ознайомитеся з дивовижною речовиною, завдяки вигадливій будові якої можливе відтворення живих організмів, — із ДНК. Довідаєтеся, з чого і як побудована основа живого — білки, зможете дослідити клітину як структурну і функціональну одиницю живого, саморегулюючу та самовідтворюючу систему. Шлях, яким ви пройдете цього року, науковці долали століттями.

Для зручності матеріал підручника розподілено на **розділи**, **теми** та **параграфи**. Зверніть увагу на запитання, які подано у тексті кожного параграфа і виділено курсивом, їх мета — перевести базові знання із «пасиву» в «актив», встановити причинно-наслідкові зв'язки,

зробити набуті знання міцним фундаментом для побудови складних теоретичних узагальнень.

На початку кожного параграфа подано терміни та поняття, що допоможуть вам зорієнтуватись у новому матеріалі, підкажуть, на що необхідно звернути увагу.

Інформація, виділена іншим шрифтом, відмінним від основного, сподіваємося, буде для вас цікавою. Усі слова, виділені або надруковані на кольоровому фоні, потребують особливої уваги.

Ілюстрації та схеми потрібні для того, щоб ви «включили» своє образне мислення та уявили щойно прочитане.

Повторити вивчене і з'ясувати, як засвоєно новий матеріал, вам допоможе рубрика **«Перевірте себе»**, подана наприкінці параграфів.

Запитання рубрики **«Як ви вважаєте?»** — найскладніші — це спрямування до наукового пошуку. Якщо зможете оригінально, цікаво й обґрунтовано відповісти на них, то ви не просто завчили матеріал, але й зрозуміли суть проблеми. А якщо зможете відповісти на всі запитання цієї рубрики — виходить, не помилилися, обравши біологію профільним предметом.

Випробувати свої сили у прикладній та експериментальній біології, застосувати накопичені знання, розвивати інтуїцію дослідника ви зможете, виконуючи **лабораторні** та **практичні роботи**.

Завдання для підготовки та контролю знань, а також **запитання колоквіуму**, розміщені в кінці кожного розділу, допоможуть з'ясувати обсяг та рівень засвоєння вами навчального матеріалу.

Зробити спробу стати справжніми науковцями допоможуть вам **семінарські заняття**. Сперечатися, дискутувати, шукати істину — все це ви будите робити, готуючись до них. Саме над цими питаннями точаться найгостріші суперечки в науковому світі сьогодні. Запропоновані теми семінарів — все ще не є догмами науки. Тож, можливо, саме ви відшукаєте істину і зможете дати пояснення неймовірним речам.

Але пам'ятайте, що підручник — це лише своєрідний дороговказ у світі знань. Наука, яку ви вивчаєте, надто складна, а факти, закони, гіпотези і теорії — надто чисельні, щоб поміститися на його сторінках. Тому будьте готові скористатися енциклопедіями, довідниками, ресурсами Інтернет-джерел, які дозволять вам розширити межі відомого, поповнити скарбницю ваших знань, знайти відповіді на найрізноманітніші та найскладніші запитання.

Удачі вам у вивченні біології!

Автори



Розділ 1
Загальна характеристика живої природи

Тема 1. Біологія — наука про життя

§1. ЗНАЧЕННЯ БІОЛОГІЇ В ЖИТТІ ЛЮДИНИ Й СУСПІЛЬСТВА

Терміни та поняття: біологія, сталий розвиток, глобальні проблеми людства, екологічні проблеми.



Мал. 1.
Сучасні ліки — теж результат біологічних досліджень

Не буде перебільшенням сказати, що сучасна **біологія** (від грец. *біос* — життя, *логос* — наука) — одна з найважливіших для людства природничих наук. Це пов'язано з тим, що саме біологія є основою медицини (*мал. 1*) — науки, одним із напрямків якої є обґрунтування методів запобігання хворобам людини та зміцнення її здоров'я (*пригадайте, які хвороби в наш час є найбільш небезпечними для людства*); це наукова база для сільського господарства (*мал. 2*) й виробництва продуктів харчування, дефіцит яких на земній кулі стає все відчутнішим. За допомогою сучасних біотехнологій вже найближчим часом можливий перехід на біопаливо, що, на думку вчених, при потребі допоможе подолати енергетичну кризу. І взагалі, саме біологія — ключ до гармонійного існування природи й людини, що є обов'язковою умовою не тільки **сталого розвитку** сучасної цивілізації, а й існування людства.



Мал. 2.
Пшениця — провідна зернова культура у світі

Раціон харчування людини цілком складається з таких об'єктів біологічного походження, як крупи, борошно, овочі та фрукти, м'ясні, рибні, молочні продукти, прянощі

(*мал. 3*). Власне кажучи, з їжею ми споживаємо тільки два небіологічні компоненти — воду та сіль. Навіть оцтова кислота, що використовується як приправа або для консервації, теж має безпосереднє відношення до живого, оскільки є результатом обміну речовин. Виявляється, щодня в організмі здорової людини утворюється 300 грамів оцтової кислоти!



Мал. 3. Набір продуктів для повноцінного харчування людини

Якщо ще 50 років тому своє майбутнє людство пов'язувало з технічним прогресом: польотами в космос, конструюванням надпотужних машин, ядерною енергетикою, створенням величезних водосховищ (*мал. 4*), зміною течії річок, то нині стало очевидним, що зростаюче виробництво матеріальних благ тісно пов'язане з руйнуванням природи. У результаті постраждали не тільки ліси, озера, річки, тварини та рослини, багато видів яких вимерли, а ще більше знаходиться на межі існування, але й сама людина.

Темпи винищення живого можна проілюструвати. Так, якщо до першого видання Червоної книги України, яке було опубліковано в 1980 р., входило 245 видів тварин та рослин, до другого, що побачило світ в 1994–1995 рр. (*мал. 5*), — 895, то до третього, 2009 р. видання, включено понад 1350 видів.



Мал. 4. *Каховське водосховище* — найбільше в Європі

Науки про життя стали основним пріоритетом розвитку сучасного суспільства. Саме їм приділяють підвищену увагу не тільки науковці, а й громадськість, політичні діячі. Наприклад, про таке досягнення сучасної біології, як розшифровка геному людини, сповістили світ у 2000 р. президент США та прем'єр-міністр Великої Британії. І це не випадково. Якщо в XX ст. людство повною мірою випробувало на собі позитивні і негативні наслідки досягнень у галузі хімії та фізики, то XXI ст. чимало видатних науковців сучасності оголосили століттям біологічної небезпеки.

Так само, як у 1955 р. за ініціативою найавторитетніших вчених світу А. Ейнштейна і Ф. Жоліо-Кюрі виник Пагуошський рух, спрямований проти ядерної зброї, в наш час вкрай актуальним є запобігання неконтрольованому використанню ресурсів навколишнього середовища, неетичному ставленню до живих об'єктів та природи взагалі (*мал. 6*). (*Пригадайте, які видатні особистості сьогодення вже приєдналися до цього руху.*)



Мал. 5. Червона книга України — перелік зникаючих видів, що знаходяться під охороною закону

Наука впритул підійшла до межі, за якою приховано таємницю життя. Сьогодні неможливо передбачити, чим може закінчитися вільне маніпулювання цією таємницею.

Жива природа — це головний ресурс людства, запаси якого вже суттєво підірвані. З кожним роком зростає дефіцит питної води. Забруднення повітря (*мал. 7*) й неприродні продукти харчування призводять до появи

раніше невідомих хвороб. Незважаючи на виведення нових, більш продуктивних сортів рослин та порід тварин, кількість голодуючих на земній кулі не тільки не зменшується, а навіть збільшується. Причиною, перш за все, є зміна клімату, що призводить до посухи та неврожаю, а також зменшення площі орних земель, зниження родючості ґрунтів.

Глобальною проблемою людства, яка в XXI ст. вийшла на перше місце, стали взаємини людини й природи. Серед конкретних **екологічних проблем** зазвичай визнають зміну клімату (*мал. 8*), дефіцит прісної води (*мал. 9*), перетворення орних земель на пустелі, деградацію рослинності, зростання чисельності населення, забруднення ґрунту, води й повітря відходами виробництва, потоншення озонового шару, виснаження природних ресурсів, появу й поширення нових захворювань. Зрозуміло, що без пізнання й опанування людством правил і законів життя природи, без переходу промисловості й енергетики на екологічно чисті, так звані безвідходні технології, без впровадження останніх досягнень біологічної науки в сільське господарство та медицину, подальше існування сучасної цивілізації виявляється просто неможливим.



Мал. 6.

Зрубані двохсотрічні дуби



Мал. 7.

Типовий індустріальний пейзаж

За даними ООН, на грудень 2008 р. кількість голодуючих у всьому світі перевищила 960 мільйонів. Більшість голодуючих (907 мільйонів) проживає в країнах, що розвиваються. З них 65 % живуть в Індії, Китаї, Конго, Бангладеш, Індонезії, Пакистані та Ефіопії.

Однак не варто зосереджуватися лише на прикладній цінності живої природи. Адже біологія — наука про найкрасивіші речі у світі! Жоден об'єкт досліджень інших наук не несе такої естетичної цінності, як жива природа (*мал. 10*)! Квіти й метелики, птахи й звірі, домашнє кошеня і мальовничий пейзаж за вікном, золота рибка в акваріумі й навіть молодший брат — це все об'єкти вивчення біології. Адже найкрасивіше й найгармонічніше у світі — це живе! Тому пам'ятайте, що ви вивчаєте дуже цікаву науку про чарівні явища та об'єкти (*мал. 11*).



Мал. 8.

Танення льодовиків

Безсумнівно, величезною є й пізнавальна цінність живої природи і біології як засобу її пізнання. Біологія — не тільки спосіб вивчення живої природи як такої, але й спосіб впливу на неї. З розвитком різних галузей цієї науки, зокрема біотехнології, з'являються, наприклад, генномодифіковані організми (бактерії, рослини й тварини) з властивостями, які дотепер природі не були відомі.

Отже, усе, що відбувається у світі, так чи інакше пов'язане з життям. Мертвий світ порожній і безглуздий.

Подумайте, навіть такі явища, як технічний прогрес або мистецтво — це теж результат діяльності біологічного об'єкта — людського мозку. Так чи інакше, усе цікаве у світі пов'язане з біологією, а значить не можна осягнути суть більшості природних явищ, не знаючи їх біологічної основи.



Мал. 9.
На цьому місці колись протікала ріка

Біологія — одна з найважливіших сучасних наук. Вона є не тільки способом вивчення живої природи, що є основним ресурсом людства, але й способом впливу на неї. Крім того, жива природа має величезну пізнавальну та естетичну цінність.

Перевірте себе

1. У чому полягає ресурсна цінність біологічних об'єктів?
2. Назвіть найбільш актуальні екологічні проблеми, що сьогодні постають перед людством.
3. У чому полягає естетична цінність живої природи?



Мал. 10.
Чисте море — задоволення для всіх

Як ви вважаєте?

1. Що повинні зробити біологи для того, щоб запобігти дефіциту їжі на планеті?
2. Розгляньте ілюстрації (с. 7–8). Чи може розвиток біологічних знань вплинути на розв'язання екологічних проблем? Як саме? Доберіть ще приклади негативного впливу людини на природу. Розкажіть про сучасні ідеї охорони навколишнього світу.
3. Чому живі організми вважають найкрасивішими й найгармонійнішими створіннями природи?



Мал. 11.
Карпати — один із символів України

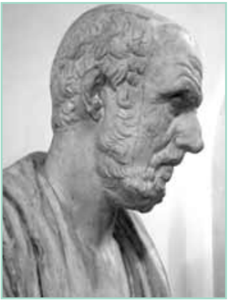
§2. РОЗВИТОК БІОЛОГІЧНОЇ НАУКИ

Терміни та поняття: натурфілософія, систематика, клітинна теорія.

Первинні уявлення про живу природу і перші спроби наукових узагальнень. Перші спроби систематизувати знання про живу природу належать давньогрецьким філософам. Античні мислителі висловлювали думки про сутність живого, походження тварин та людини.

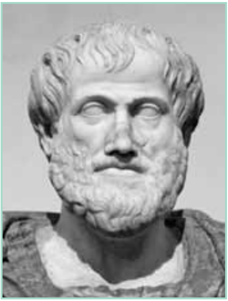
Філософи-натуралісти Стародавньої Греції (V ст. до н. д.) вважали, що живі організми виникли з неживої матерії внаслідок її поступових змін. Причому потворні, неповноцінні істоти з часом вимерли, а гармонійні вижили й почали розмножуватися.

Найперші дослідження будови тіла людини провів видатний лікар, реформатор античної медицини, автор праць з анатомії «Про залози», «Про серце», «Про природу кісток» ***Гіппократ*** (*мал. 12*) (бл. 460–377 рр. до н. д.). Він досить добре знав будову серця, розрізняв артерії та вени, визначав черепномозкові та спинномозкові нерви. Гіппократ цілком справедливо вважав, що процес дихання відбувається за допомогою легень, але помилявся, думаючи, що цей процес слугує для охолодження серця. Він висловив геніальну на той час думку про зв'язок головного мозку з психічною діяльністю людини. (*Пригадайте типи темпераменту та чотири основні «тілесні рідини», з якими їх пов'язував Гіппократ.*)



Мал. 12.
Гіппократ

Початок власне біологічної науки заклав у своїх працях давньогрецький вчений і філософ ***Арістотель*** (*мал. 13*) (384–322 рр. до н. д.), якого вважають засновником зоології. Він написав кілька спеціальних трактатів, присвячених будові, класифікації й виникненню тварин, найвідомішим з яких є «Історія тварин». У цій праці Арістотель описав будову тіла тварини, систему органів людини, здійснив порівняння будови тіла людини і тварини, розглянув способи розмноження й особливості розвитку тварин.



Мал. 13.
Арістотель

Засновником ботаніки вважають давньогрецького природодослідника ***Теофраста*** (*мал. 14*) (близько 372–287 рр. до н. д.), улюбленого учня Арістотеля. У праці «Історія рослин» Теофраст описав різні способи розмноження рослин і процес проростання насіння, вказав на відмінності між однодольними і дводольними рослинами, визначив, що рослини можуть належати до чоловічої або жіночої статі. Він першим запровадив термін «плід».



Мал. 14.
Теофраст

Визначний біолог-дослідник, римський лікар ***Клавдій Гален*** (*мал. 15*) (н. д. 130–200) вважається батьком анатомії. Його авторитет як вченого був незаперечним понад тисячу років. Гален вивчав внутрішню будову свійських тварин: овець, биків, свиней, собак, а також мавп. Він дослідив і детально описав їхні серце, м'язову систему, центральну і периферичну нервові системи.

Біологія в Середні віки та епоху Відродження. В епоху Середньовіччя біологія практично не розвивалася. (*Пригадайте характерну ознаку цього періоду в історії людства.*) Будь-які спроби проникнути в сутність природних явищ визнавалися єретизмом. Нечисленні сміливці, які наважувалися на це, зазнавали гонінь або були страчені. Серед них і видатний іспанський анатом ***Мігель Сервет*** (*мал. 16*) (1511–1553), який першим вказав на споріднені зв'язки між людиною і мавпою.



Мал. 15.
К. Гален



Мал. 16.
М. Сервет



Мал. 17.
А. Везалій

З XVI ст. розпочався бурхливий розвиток природознавства, філософії, мистецтва. Цей період називається епохою Відродження. Інтерес до природознавства був одним із чинників зародження промисловості, розвиток якої був неможливий без наукової революції. (*Пригадайте з уроків історії, які саме наукові відкриття сприяли розвитку капіталістичних відносин на межі XV–XVI ст.*)

Середньовічна біологія, як і антична, спочатку не відокремлювалася від філософії і тому називалась **натурфілософією** (від лат. *натура* — природа). Перші трактати про сутність та явища природи, присвячені питанням природознавства, були досить абстрактними. Проте поступово починають формуватися нові підходи до пізнання живої природи і набувають розвитку наукові методи досліджень — спостереження й експеримент. Саме на підставі експериментальних досліджень біологія сформувалася як наука.

Першочергову роль у становленні біології відіграли експериментальні дослідження з анатомії й фізіології людини, яких так потребувала медицина.

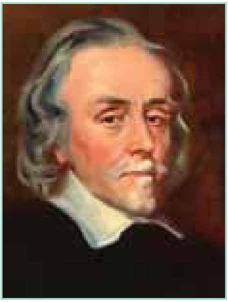
Не задовольняючись лекціями своїх учителів, які викладали за Галеном, ***Андреас Везалій*** (*мал. 17*) (1514–1564) під загрозою смертної кари потайки досліджував людські тіла. Везалій виправив близько 200 історичних помилок Галена, зокрема спростував твердження про те, що у чоловіків на одне ребро менше, ніж у жінок, та не знайшов кісточку, яка не горить у полум'ї і має таємничу силу, що дозволить людині воскреснути у день Страшного суду та постати перед Богом, як було описано у підручниках з анатомії того часу.

Інший видатний анатом, фізіолог та ембріолог ***Вільям Гарвей*** (*мал. 18*) (1578–1657) експериментально довів, що у людини відбувається безперервний замкнений кровообіг, встановив, що серце має м'язову будову і є органом кровообігу. Ці дослідження мали величезне значення: вони довели, що будова тіла і процеси, які відбуваються в організмі людини і тварини, подібні, а тому розуміння їхньої природи не потребує участі душі або божественного начала.

Геніальний художник, мислитель, технік Леонардо да Вінчі (1452–1519) протягом десятків років анатомував людські тіла і зробив багато точних замальовок. На жаль, його анатомічні трактати стали широковідомі лише через півтора століття після смерті автора і тому не мали впливу на розвиток цієї науки.

Важливий науковий напрям експериментальної біології кінця епохи Середньовіччя сформувався після відкриття дрібних істот, яких не здатне бачити

око людини, а також клітинної будови організмів. Вивчення мікросвіту стало можливим завдяки розвитку оптики, винайденню лінз і мікроскопа. Значний внесок у розвиток мікроскопічних досліджень зробив англієць ***Роберт Гук*** (*мал. 19*) (1635–1703), який описав мікроскопічну будову тканин рослин та таких доволі дрібних об'єктів, як око мухи, крило бджоли, личинка комара. Виявив їх клітинну будову і голландець ***Антоні ван Левенгук*** (*мал. 20*) (1632–1723), який за допомогою виготовлених власноруч лінз із понад 250-кратним збільшенням першим побачив сперматозоїди, бактерії та найпростіших, назвавши їх «тваринками». (*Пригадайте роздільну здатність сучасного світлового та електронного мікроскопа.*) Сьогодні мікробіологія, засновником якої вважають Левенгука, переживає свій розквіт.



Мал. 18.
В. Гарвей

> «Всі мої прагнення спрямовані лише на те, щоб зробити очевидною істину і докласти мій невеликий талант до того, щоб відволікти людей від старих та забобонних переконань», — писав Левенгук. (*Чи існують у сучасному світі забобонні переконання, які не може пояснити біологічна наука?*)



Мал. 19.
Р. Гук

Становлення основних біологічних наук у XVIII–XIX ст. Протягом XVIII — першої половини XIX ст. відбулося остаточне становлення біології як науки, сформувалися основні її напрями. (*Назвіть відомі вам біологічні дисципліни.*) Це супроводжувалося важливими науковими відкриттями. До них належить встановлення наприкінці XVIII ст. факту «живлення» у рослин, в якому важливу роль відіграють сонячні промені. (*Пригадайте, що таке фотосинтез.*) Практичні результати експериментів з живлення рослин, що їх проводили не лише біологи, а й хіміки та фізики, довели, що вивчати живі істоти можна так само, як і неживі об'єкти — за допомогою методів фізичних наук: вимірювань, зважувань та обчислень.

Цей період ознаменувався становленням **систематики** як самостійної науки та формуванням **клітинної теорії.**



Мал. 20.
А. Левенгук

Накопичення знань про тварин і рослини потребувало їх систематизації. Спочатку види тварин і рослин упорядковували за алфавітом, потім почали класифікувати за особливостями будови тіла і способу життя. Така класифікація допомагала ще й визначати види тварин і рослин. Вагомий внесок у формування системи тваринного і рослинного світу зробив шведський природознавець ***Карл Лінней*** (*мал. 21*) (1707–1778), який «зазирнув у кожну квітку» та за кількістю і характером тичинок поділив рослини на 24 класи. Його дослідження започаткували сучасну біологічну науку — систематику, завданням якої є впорядкування, класифікація всіх живих

організмів. Головним недоліком системи Ліннея було те, що вона не враховувала спорідненості видів. Лише класифікація живих істот, побудована за багатьма ознаками, робить систему організмів сталою.

Цікаво, що сучасники Ліннея, зокрема Бюффон, рішуче заперечували класифікацію, яка, на їх думку, не тільки порушувала неперервність живих істот, але й «вбивала» прекрасний світ живої природи своєю штучністю. (*А як вважаєте ви?*)



Мал. 21.
К. Лінней

Класифікацію Ліннея згодом було модифіковано. Адже науковець шукав лише подібні ознаки у рослин, і не бачив родинні зв'язки між видами, оскільки заперечував можливість еволюції та нерідко спирався у своїй роботі на інтуїцію та інстинкт натураліста.

У XIX ст. відбулися епохальні відкриття в області вивчення клітини. Було встановлено, що клітина складається з ядра і цитоплазми, а клітини тварин і рослин мають подібну будову. Спираючись на ці та інші факти, зокрема результати емпіричних досліджень Маттіаса Шлейдена (1804–1881) щодо ролі ядра в клітинах рослин, німецький біолог ***Теодор Шванн*** (*мал. 22*) (1810–1882) у 1839 р. сформулював теоретичне положення, відповідно до якого всім організмам властива клітинна будова. Клітинна теорія Т. Шванна містила й помилкові судження, зокрема вчений припускав, що клітини в організмі виникають шляхом новоутворень із первинної неклітинної речовини. Проте завдяки цій теорії стала очевидною спорідненість всіх живих істот — людина й інфузорія, миша і квасолина мають одну спільну ознаку: вони складаються з клітин.



Мал. 22.
Т. Шванн

Історія науки про живе налічує майже 2500 років. Біологія як наука сучасного типу сформувалася протягом відносно короткого періоду (близько 300 років), коли в біологічні дослідження були впроваджені наукові поняття і методи фізики та хімії, внаслідок чого виникла експериментальна біологія.

Перевірте себе

1. Чому біологія античних часів і початку епохи Середньовіччя була частиною філософії?
2. Які найбільші наукові теоретичні узагальнення в біології були зроблені в епоху Відродження?
3. Якими були перші результати експериментальних досліджень і використання технічних приладів у біології XVII ст.?
4. Який внесок у систематику зробив К. Лінней? У чому полягає недосконалість його системи?

Як ви вважаєте?

1. Чому першими, хто почав досліджувати біологічні явища, були філософи?
2. Чому протягом епохи Середньовіччя, незважаючи на переслідування, розвивалися дослідження з анатомії людини?
3. Чому систематику називають «альфою» і «омегою» будь-якої біологічної науки?
4. Які чинники у різні історичні періоди сприяли розвитку біологічних наук, а які — стримували?

§3. СТАНОВЛЕННЯ СУЧАСНОЇ БІОЛОГІЇ

Терміни та поняття: концепція креаціонізму, палеонтологія, трансформізм, еволюційна теорія, дарвінізм, природна система організмів, генетика, молекулярна біологія, екологія.

Формування еволюційної теорії. До XVIII ст. у біології панувало уявлення про сталість і незмінність видів організмів, а їх різноманітність пояснювали результатом божественного творіння.

Наприкінці XVIII — початку XIX ст. ці погляди сформувалися як **концепція** (від лат. *концепціо* — розуміння, система) **креаціонізму** (від лат. *креаціо* — створення), згідно з якою світ людини та різні форми життя на Землі створені вищою надприродною силою. Її прихильники вважали, що видів існує стільки, скільки їх було під час створення світу.

Ілюстрацією панування креаціонізму в палеонтології того часу є опис скелета викопної гігантської саламандри як грішника — свідка Всесвітнього потопу.

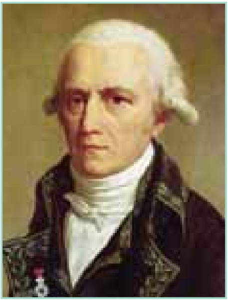
Проте викопні рештки свідчили, що колись на Землі жили не окремі види тварин, що вимерли, а цілі групи, які послідовно змінювали одна одну. Для пояснення цієї суперечності французький зоолог ***Жорж Кюв'є*** (*мал. 23*) (1769–1832), якого вважають засновником **палеонтології** (від грец. *палаїс* — давній, *онтос* — істота, *логос* — вчення) — науки, що вивчає вимерлі організми, запропонував теорію, відповідно до якої в історії Землі були періоди катастроф, наслідком яких стало вимирання цілих груп тварин, після чого за волею Творця відбувалось оновлення тваринного і рослинного світу. Науковець доводив, що у світі тварин існує чотири типи тіла: членистий (раки, комахи, деякі черви); м'якотілий (равлики, восьминоги та ін.); хребетний та променевий. Якщо К. Лінней в основу своєї класифікації поклав



Мал. 23.
Ж. Кюв'є



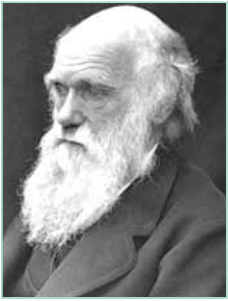
Мал. 24.
Ж. Л. Бюффон



Мал. 25.
Ж. Б. Ламарк

виключно зовнішні ознаки, то Кюв'є додав до них анатомічні.

Кюв'є встановив *принцип кореляції* (від лат. *кореляціо* — співвідношення) органів. Наприклад, якщо звір мав ікла, то у нього не було рогів. На основі цього принципу науковець здійснив реконструкцію багатьох вимерлих тварин, яких раніше вважали «іграми природи» або «кістяками казкових велетнів» чи древніх святих.



Мал. 26.
Ч. Дарвін

Кюв'є описав близько 150 видів раніше невідомих науці ссавців та плазунів. «Дайте мені лише одну кістку, і я відновлю усю тварину», — говорив учений.

У той час, на противагу креаціонізму, розвивається **трансформізм** (від лат. *трансформо* — надавати нового вигляду, перетворювати) — вчення про історичну змінність організмів і походження одних видів від інших, що відбувається без участі Творця. Прибічниками цього вчення були Р. Гук, французький ботанік ***Жорж Луї Бюффон*** (*мал. 24*) (1707–1788), німецький природознавець і поет Йоганн Вольганг Гете (1749–1832), а також Еразм Дарвін (1731–1802) — англійський натураліст і поет, дід Чарлза Дарвіна.



Мал. 27.
І. І. Мечніков

Проте рушійні сили — *фактори* (від лат. *фактор* — той, що робить) *еволюції* (від лат. *еволюціо* — розгортання) — ці вчені детально не досліджували. Трансформісти обмежилися лише міркуваннями про первинну доцільність організмів і не розглядали власне біологічні механізми еволюційних перетворень, тому ця теорія трансформізму була таким самим умовиводом, як і креаціонізм.

Перша **еволюційна теорія** — система ідей про історичну змінність живого, що являла собою вершину трансформізму, була закладена французьким ученим ***Жаном Батістом Ламарком*** (*мал. 25*) (1744–1829). Основні положення цієї теорії викладено у праці «Філософія зоології»: організми змінюються під дією зовнішніх та внутрішніх факторів; види несталі і перетворюються в інші види; в організмах закладено прагнення до вдосконалення, на шляху до якого відбувається еволюція; зміни організмів, набуті за життя, успадковуються.



Мал. 28.
І. І. Шмальгаузен

Ламарк одним із перших спробував розробити природну систему рослин. За ступенем удосконалення квітки та плоду він поділив їх на таємношлюбні, однолопасні, неповні, складноцвітні, однопелюсткові, багатопелюсткові. (*Чи використовують у сучасній ботаніці цю класифікацію?*)

Термін «біологія» вперше з'явився в період інтенсивного формування науки сучасного типу — на межі XVIII–XIX ст. Його запровадили майже одночасно, незалежно один від одного четверо вчених: у 1797 р. — Т. Роозе, у 1800 р. —

К. Бурдаха та у 1802 р. — Ж. Б. Ламарк і Г. Р. Тревіранус. (*Спробуйте пояснити, як це могло статися.*)

Сучасний погляд на теорію еволюції пов'язаний з ім'ям ***Чарлза Дарвіна*** (*мал. 26*) (1809–1882), його теорією природного добору, яку він виклав в опублікованій у 1859 р. праці «Походження видів шляхом природного добору». За Дарвіном, еволюція відбувається внаслідок взаємодії трьох основних біологічних факторів: *мінливості, спадковості та природного добору*. Мінливість надає матеріал для еволюційних перетворень, спадковість закріплює ці зміни, зберігаючи їх у потомках, а природний добір залишає лише особин з індивідуальними відмінностями, що сприяють виживанню організмів. Постійне накопичення нових ознак на певному етапі приводить до утворення нового виду. Саме нові види краще пристосовані до життя, ніж їхні попередники, здатні залишити більшу кількість потомків, що поступово спричинює витіснення старих форм новими. Це вчення, у якому роль рушійної сили еволюції належить природному добору, називається **дарвінізм**.

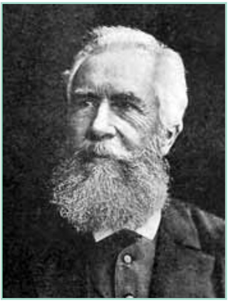
У подальшому еволюційна теорія розвивалася, збагачувалася відомостями з інших розділів біології, доповнювала їх, створюючи нові еволюційні напрями. Виникли *еволюційна морфологія, еволюційна палеонтологія та еволюційна ембріологія* (від грец. *ембріон* — зародок). Засновниками останньої були професор Новоросійського університету в Одесі ***Ілля Ілліч Мечніков*** (*мал. 27*) (1845–1916) і академік Петербурзької Академії наук, директор Севастопольської біологічної станції у 1892–1901 рр. Олександр Онуфрійович Ковалевський (1840–1901).

У XX ст. на основі дарвінізму й досягнень інших біологічних наук виникла *синтетична теорія еволюції*, яка об'єднала дарвінізм з досягненнями генетики. У її розвиток вагомий внесок зробив академік Академії наук України ***Іван Іванович Шмальгаузен*** (*мал. 28*) (1884–1963) — засновник і директор Інституту зоології, що сьогодні носить його ім'я, а також наш співвітчизник академік Національної академії США ***Феодосій Григорович Добжанський*** (*мал. 29*) (1900–1975).

Завершальним етапом формування еволюційного вчення стало проникнення ідей дарвінізму в біологічну систематику. Це привело до створення **природної системи організмів**, якою користуються й досі. На відміну від штучної системи Ліннея, її побудовано за принципом спорідненості організмів: близькі види тварин об'єднано в категорію «рід», близькі роди утворюють категорію «родина», а близькоспоріднені родини — «ряди». Основою



Мал. 29.
Ф. Г. Добжанський



Мал. 30.
Е. Геккель



Мал. 31.
Г. Мендель



Мал. 32.
М. І. Вавилов



Мал. 33.
С. М. Гершензон



Мал. 34.
Дж. Вотсон

для визначення спорідненості організмів слугують не поодинокі ознаки, а їх комплекси, також особливості індивідуального розвитку організмів і дані еволюційної палеонтології.

Засновником природної системи тварин вважають німецького біолога ***Ернста Геккеля*** (*мал. 30*) (1834–1919), який першим побудував філогенетичне (від грец. *філе* — плем'я, *генезис* — походження) дерево царства Тварини.

Виникнення генетики й формування молекулярної біології. Пояснити механізми успадкування ознак намагалися ще Гіппократ і Арістотель. У подальшому вчені докладали великих зусиль, аби розкрити таємниці спадковості. Після перевідкриття у 1900 р. одночасно трьома вченими, незалежно один від одного, законів спадковості, установлених у 1865 р. ***Грегором Менделем*** (*мал. 31*) (1822–1884), виникла **генетика** (від грец. *генезис* — походження) — наука про мінливість і спадковість організмів. Принципово новим у працях Менделя було твердження про переривчастий характер спадковості, відкриття *корпускул* (від лат. *корпускулюм* — частка), одиниць спадковості, які у 1906 р. отримали назву — *гени* (від грец. *генос* — рід, походження).

У 20-ті роки XX ст. розпочинаються бурхливі генетичні дослідження, і за кілька десятиліть генетика стає однією з найрозвиненіших біологічних наук, які використовували передові експериментальні методи. Такий стрімкий розвиток генетики був зумовлений як потребами сільського господарства, так і досягненнями інших галузей біології, що були підґрунтям для експериментального вивчення спадковості. Серед визначних учених-генетиків того часу особливе місце посідає академік Російської академії наук і Національної академії наук України ***Микола Іванович Вавилов*** (*мал. 32*) (1887–1943) — видатний організатор селекційної роботи, який виявив центри походження культурних рослин, сформулював ряд теоретичних положень генетики, зокрема *закон гомологічних рядів* у спадковій мінливості, що відіграв важливу роль у розвитку сільськогосподарських наук.

«В еволюційному розвитку немає хаосу; не дивлячись на різноманітність форм живого, мінливість вкладається у певні закономірності», — стверджував учений.

Успіхи біології XX ст. були б неможливі без використання досягнень інших наук, насамперед фізики й хімії. Саме завдяки методам фізики й хімії упродовж десятиліть розкрито численні таємниці генів: встановлено, що гени містяться в хромосомах і є одиницею спадкового матеріалу, який відповідає за формування певної елемен-

тарної ознаки. Далі було вивчено їх структуру і механізм дії. Особливе значення у дослідженнях, що інтенсивно проводилися в 40–50-х рр. XX ст., мали відкриття академіка НАН України ***Сергія Михайловича Гершензона*** (*мал. 33*) (1906–1999), досліди якого стали основою доведення того, що саме ДНК є носієм спадкової інформації.

Важливим відкриттям XX ст. стало розшифрування структури ДНК, яке в середині 50-х років здійснила група англійських учених. Модель структури ДНК побудували ***Джеймс Вотсон*** (*мал. 34*) (р. н. 1928) та ***Френсіс Гаррі Крік*** (*мал. 35*) (1916–2004). Це відкриття є початком **молекулярної біології** — науки, яка вивчає структуру й функції біологічних молекул та молекулярні основи спадковості. Сучасні успіхи молекулярної біології вражають. Нині можна вмістити ген бактерій в геном рослини, ген рослини — в геном тварини і навпаки. Такі досліди проводять у межах напряму сучасної науки, який отримав назву **генної інженерії**.



Мал. 35.
Ф. Крік

Виникнення і розвиток екології. Термін **екологія** (від грец. *ойкос* — оселя, середовище, *логос* — вчення) був запроваджений у 1869 р. Е. Геккелем, який окреслив коло питань, пов'язаних із впливом чинників живої й неживої природи на життя організмів. Ця наука первинно виникла виключно для того, щоб розвивати ідеї Дарвіна щодо природного добору.

В екології сформувалися положення, що є актуальними й сьогодні: 1) тварини і рослини живуть угрупованнями, яким притаманні власні правила та закони; 2) рослини і тварини утворюють покрив Землі; 3) речовина й енергія на Землі перебувають у стані кругообігу. Ключовим моментом становлення екології як науки було формулювання понять *екосистема* (від грец. *ойкос* — оселя, середовище, *система* — об'єднання) і *біогеоценоз* (від грец. *біо* — життя, *ге* — Земля, *коїнос* — загальний).

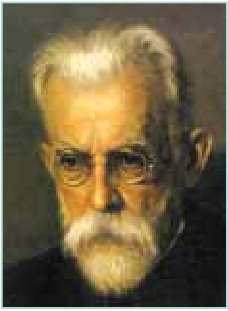
Визначним досягненням біології XX ст. стало виникнення ідеї про єдність живого на Землі, яка сформувалася у вигляді вчення про *біосферу* (від грец. *біо* — життя, *сфера* — куля) — живу оболонку Землі. Як не дивно, ідею про те, що на зовнішній оболонці Землі міститься «сфера життя», висловив ще Ламарк, а термін «біосфера» був запроваджений у 1875 р. австрійським геологом ***Едуардом Зюссом*** (*мал. 36*) (1831–1914).



Мал. 36.
Е. Зюсс

Зюсс писав: «...як на Сонці виділяють концентричні оболонки, так, напевно, і на Землі можна відрізнити оболонки, з яких кожна знаходиться у численних зв'язках з іншими... Перша оболонка — атмосфера, друга — гідросфера і третя — літосфера... Одне здається чужорідним на цьому великому, утвореному зі сфер небесному тілі, а саме — органічне життя. Там воно обмежене певною зоною на

поверхні літосфери. Рослини, коріння яких у пошуках їжі проникає у ґрунт і піднімається у повітря, щоб дихати, є гарною ілюстрацією розташування органічного життя... Вона (біосфера) простягається тепер як над сухою, так і над вологою поверхнею». (*Пригадайте, в які періоди існування планети біосфера обмежувалась лише водним середовищем.*)



Мал. 37.
В. І. Вернадський

Особливого значення для розвитку вчення про біосферу набули праці академіка ***Володимира Івановича Вернадського*** (*мал. 37*) (1863–1945) — першого президента Академії наук України. Нині екологія являє собою систему наук, що має незаперечне значення для охорони природи.

Вернадський стверджував, що важливим етапом еволюції біосфери буде її перехід до ноосфери (від лат. *ноо* — розум) — «сфери розуму» внаслідок розселення людини по усій поверхні планети, перемоги її над іншими біологічними видами, оволодіння силами природи та контролю над ними, розвитку позапланетних систем зв'язку, створення єдиної інформаційної системи, відкриття нових джерел енергії, залучення людей до наукової діяльності тощо. (*Які прогнози науковця вже справдились?*)

Ключовим етапом становлення сучасної біології є формування уявлень про еволюційний характер виникнення й розвитку життя на Землі, які з часом збагатились досягненнями генетики та екології.

Перевірте себе

1. Чому трансформізм є такою самою абстрактною концепцією, як і креаціонізм?
2. Назвіть наслідки впливу дарвінізму на біологію, зокрема на систематику.
3. Чим пояснюється бурхливий розвиток генетики?
4. З яких трьох найважливіших положень почала формуватися екологія?
5. Назвіть видатних біологів-співвітчизників. У чому полягає їхній внесок у науку?

Як ви вважаєте?

1. Чому таке важливе значення для розвитку біології мають еволюційна теорія та ідея єдності всього живого на Землі?
2. Чому молекулярна біологія стала логічним продовженням розвитку генетики?
3. Чому ідея кругообігу речовини та енергії вважається однією з найбільш плідних у біології?
4. Чому біосферу як окрему оболонку виділили лише наприкінці XIX ст.?

§4. БІОЛОГІЯ ЯК СИСТЕМА НАУК

Терміни та поняття: гомеостаз, система біологічних наук, дисципліна, геноміка, біоінформатика, біоніка, біоетика.

Біологія та її основні принципи. Біологія — наука про життя в усіх його проявах. Об'єктом досліджень біології є живі істоти та їх взаємодія з навколишнім середовищем.

Біологія вивчає будову, функціонування, ріст, походження, історичний розвиток і поширення живих організмів на Землі, описує й систематизує їх різноманітність, взаємодію між собою та з навколишнім середовищем.

Людина (*мал. 38*) — істота біологічна, вона підкоряється тим самим законам природи, що й інші живі організми. Руйнація середовища існування, яка загрожує виснаженням природних ресурсів, дефіцитом прісної води, екологічними негараздами та катастрофами, появою нових захворювань, що вимагають сучасних препаратів і методів лікування, робить біологію найважливішої наукою для майбутнього людства. Біологія — обов'язковий предмет шкільної освіти. У світі щорічно виходять мільйони наукових та науково-популярних публікацій, які так чи інакше стосуються біологічних проблем.



Мал. 38. Різноманіття людських рас — наслідок мінливості ДНК

Сучасна біологія досліджує такі фундаментальні питання, як: клітинну будову організмів; еволюційне походження видів живого на Землі; генну теорію успадкування ознак; стійкість організмів до зовнішніх факторів середовища; забезпеченість організмів енергією — життєвою силою, що підтримує процеси, які відбуваються в організмі.

Сутність цих питань полягає в наступному: • усі живі організми складаються з клітин, а нові клітини утворюються з материнських шляхом поділу; • сучасна різноманітність живих організмів сформувалася в процесі історичного розвитку життя на Землі, який називається еволюцією; • спадкова інформація про всі ознаки й властивості живих організмів закодована в генах — ділянках ДНК; • фізіологічні процеси, що відбуваються в організмі, спрямовані насамперед на збереження його стабільного стану, який називають **гомеостазом** (від грец. *гомеос* — однаковий, *стасис* — нерухомість).

Для підтримки життя організмам необхідна енергія, яку вони одержують із навколишнього середовища: автотрофи (рослини, ціанобактерії) — від Сонця, а гетеротрофи (тварини, гриби, більшість бактерій) — поїдаючи інші організми або поглинаючи органічну речовину, що залишилася після смерті цих самих організмів. Процес

засвоєння й перетворення енергії являє собою сукупність хімічних реакцій, які відбуваються в клітинах.

Біологія як система наук. Із самого початку свого становлення біологія являла собою **систему наук**. Це пов'язано з тим, що об'єктами біологічних досліджень були як різні види живих істот, так і різні сторони життєдіяльності організмів, якими займалися зовсім різні науковці.

Спочатку біологічні науки групувалися за типами досліджуваних організмів: *ботаніка* — наука про рослини (*мал. 39а і 39б*), *зоологія* — про тварин, *мікробіологія* — про мікроорганізми (*мал. 40*). Потім сформувалися науки, об'єктами досліджень яких стали біологічні процеси. У результаті з'являються модельні об'єкти — тварини, рослини або бактерії, — з якими працюють майже всі: плодова мушка — *дрозофіла* у генетиків, *жаба* і *собака* — у фізіологів, *кишкова паличка* — у мікробіологів.



Мал. 39*а*.

Дику орхідею, або *зозулинець блощичний*, нещодавно можна було зустріти на околицях Києва

Людство вдячне тваринам. Проявом такої вдячності стали пам'ятники, споруджені у багатьох країнах світу (*мал. 41*). Найбільше їх встановлено собаці, є кілька жабі й навіть один — дрозофілі.

Найпершою серед біологічних наук, що мала на меті не вивчення конкретного об'єкта, а розв'язок проблеми, мабуть, була *систематика* — наука про класифікацію живих організмів; будову тіла й органів рослин та тварин вивчають *морфологія* й *анатомія*; будову й особливості життя клітин — *цитологія*; функції окремих органів і процеси, що в них відбуваються, — *фізіологія*; поведінку тварин — *етологія*; взаємозв'язок різних організмів один з одним і середовищем їхнього існування — *екологія*; закономірності спадковості та мінливості вивчає *генетика*; розвиток організму в онтогенезі є предметом *біології розвитку*; зародження й історичний розвиток живої природи перебуває в полі зору *еволюційної біології*.



Мал. 39*б*.

Білі, як і інші *гриби*, є об'єктом науки мікології, однак вони і зараз привертають увагу ботаніків

Більшість біологічних наук складаються з **дисциплін** (від лат. *дисципліна* — школа, навчання) — наукових напрямів з вузькою спеціалізацією. Наприклад, за об'єктом досліджень у зоології виділяють *теріологію* — науку про ссавців, *орнітологію* — про птахів (*мал. 42*), *іхтіологію* — про риб (*мал. 43*), *ентомологію* — про комах (*мал. 44*), *протистологію* — про найпростіших (*мал. 45*) тощо. У такій сучасній науці, як генетика нараховують десятки напрямів, серед яких найбільш відомі *молекулярна генетика*, *цитогенетика*, *біохімічна генетика*, *імуногенетика*, *генетика розвитку*, *популяційна генетика*, *медична генетика*.

Утворення нових наукових напрямів триває й нині. Нещодавно на стику генетики й молекулярної біології

сформувалася така дисципліна, як *геноміка* — порівняння будови генетичних апаратів різних організмів. *Біоінформатика*, або *обчислювальна біологія*, — теж одна з наймолодших біологічних наук, яка використовує комп'ютери для розв'язку певних біологічних завдань. Без неї неможливо обробити інформаційні масиви даних, що накопичуються в сучасній науці.

Біологія та інші науки. Як уже зазначалося, біологія як наука сформувалася тільки завдяки експериментам, у яких використовували методи точних наук: фізики, хімії й математики. Без оптичних приладів і електронних мікроскопів неможливий був би прогрес ні у вивченні мікроорганізмів і клітин, ні у вивченні дрібних клітинних структур. Без хімічних досліджень не можна було б вивчити фізіологічні процеси, що відбуваються в організмах тварин, і з'ясувати, яким чином живляться рослини. Без математичних методів, що забезпечують кількісний аналіз отриманих результатів, просто не виникла б генетика й не було б зрозуміло, чому діти так схожі на своїх батьків. Адже генетика як наука сформувалася саме завдяки застосуванню статистичних методів.

На межі з точними і природничими науками виник цілий ряд біологічних дисциплін. І це не тільки *біохімія*, яка вивчає хімічні основи живого, але й *біофізика*, що досліджує фізичні процеси у живих системах різних рівнів, *біометрія*, яка використовує математичний апарат для статистичного аналізу біологічних даних і опису біологічних процесів, **біоніка** — наука, що знаходиться на межі біології та техніки і вирішує певні інженерні завдання на базі вивчення біологічних процесів. Інтегрується біологія не тільки з точними науками, але й навіть із суспільними. Нещодавно з'явилися науки *соціобіологія*, що займається проблемою співвідношення біологічного й соціального в угрупованнях живих організмів, та *зоопсихологія*, яка доводить, що у тварин також є психіка.

Практичні потреби людини формують такі наукові напрями, як *агроекологія*, *біотехнологія*, *космічна біологія*, *біомедицина*, а моральні чинники зумовили виникнення **біоетики** — органічного поєднання сучасних досягнень біологічних наук та медицини з духовністю. У сучасному суспільстві біоетика стала ознакою цивілізованості. В Україні останнім часом розпочато роботу в цьому напрямі. Діють Комітети з біоетики при Президіях НАН України та Національної академії медичних наук, розроблено проект Закону про біоетику та біоетичну експертизу, налагоджено зв'язки з громадськістю, контакти з міжнародними організаціями, що опікуються цією справою, а також з комітетами окремих країн.



Мал. 40.

Золотистий стафілокок — один із найнебезпечніших для людини мікроорганізмів



Мал. 41.

Пам'ятник собаці Павлова. Санкт-Петербург



Мал. 42.

Лелека — птах-символ українців



Мал. 43.
Коралові риби — це найдивовижніші істоти



Мал. 44.
Бабки не лише найчарівніші істоти серед комах, але й найненажерливіші хижаки



Мал. 45.
Амеба протей — найпростіша за будовою з амеб

Сучасна біологія — це одна з найпотужніших наук сьогодення, що являє собою систему знань і включає сотні дисциплін та напрямів досліджень. Нині розвиток біологічних досліджень є пріоритетом не тільки науки, але й ознакою цивілізованого суспільства.

Перевірте себе

1. У чому полягають принципи сучасної біології?
2. Чому біологію вважають системою наук?
3. Які наукові напрями виникли в біології останнім часом?
4. Які напрями сучасних досліджень підтверджують інтеграцію біології з суспільними науками?
5. Назвіть біологічні науки та предмет їх дослідження.
6. Побудуйте схему сучасної структури біології.

Як ви вважаєте?

1. Сформулюйте свою точку зору щодо перспективного розвитку біології. Які її напрями будуть пріоритетними в майбутньому?
2. У якій галузі біології особливу цінність мають знання з філософії?
3. Чи можливе повернення усіх природничих наук до однієї — натурфілософії? Аргументуйте свою відповідь.
4. Як ви вважаєте, якщо у XX ст. біологію було визнано одним з лідерів щодо кількості відкриттів та темпів розвитку, чи не втратить вона своїх позицій у XXI ст.?
5. У якому з біологічних напрямів сьогодні найважче зробити відкриття? Чому?
6. Яка біологічна наука має найскладніший об'єкт дослідження?

§5. МЕТОДИ БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Терміни та поняття: наукові методи (описовий, порівняльний, експериментальний, історичний, моніторинг, статичні, математичне моделювання), факт, гіпотеза, принцип, закон, теорія, вчення, індукція, дедукція.

Що таке науковий метод. Кожна наука має свою методологію — сукупність принципів та ідей, а також способів отримання нової наукової інформації. Ці прийоми надбання нових знань називаються **науковими методами** (від. грец. *методос* — шлях дослідження). Основою будь-якого наукового пошуку, джерелом одержання знань є цілеспрямоване **спостереження** й чітко спланований **експеримент** (від лат. *експерементум* — дослід).

Спостереження більш властиві біологічним наукам, що вивчають біологічні процеси, які відбуваються у природі. Наприклад, спостереження за міграцією птахів (*мал. 46*), коливаннями чисельності комах, поведінкою ссавців є важливими способами пізнання світу тварин, а

спостереження за фазами цвітіння (*мал. 47*) й іншими сезонними явищами в житті рослин — ключовими методами польової ботаніки.

Експеримент як метод дослідження більш властивий наукам, що розвиваються в лабораторії (*мал. 48*): біохімії, біофізиці, фізіології або генетиці. Фізіологи й біохіміки «у пробірці» вивчають, наприклад, вплив біологічно активних речовин на швидкість метаболізму в окремих клітинах; молекулярні біологи — структуру й функції біологічних макромолекул (білків, ДНК); генетики й біофізики разом досліджують вплив рентгенівського випромінювання на генетичний апарат організмів. Усі ці процеси не можна вивчити у природному середовищі. Адже ні рентгенівського випромінювання, ні високого рівня радіації в природі не буває, а тому тільки в лабораторії відстежують процеси, що відбуваються за таких умов. Відкриті при цьому явища можуть бути надалі використані в прикладних аспектах, наприклад у медицині опромінення застосовують у боротьбі із злоякісними пухлинами, а в селекції рослин (*мал. 49*) в результаті радіаційного впливу на насіння одержують організми-мутанти з новими біологічними властивостями. Крім того, експериментальні дослідження дозволяють значно прискорити науковий пошук. Адже чекати в природі комбінацій певних умов можна роками, а в лабораторії є можливість створити їх штучно. Як випробувати новий сорт пшениці на стійкість до посухи чи заморозків? Можна, звичайно, довго й завзято чекати, коли у природі виникнуть подібні умови, тоді як за допомогою *фітотрону* (*мал. 50*) (від грец. *фітон* — рослина і *тронос* — місцеперебування) — спеціальної споруди для вирощування рослин, що моделює певні кліматичні умови, — вже після першого досліду стане зрозуміло, чи здатний новий сорт протистояти згубним чинникам середовища.

Найцікавіші наукові результати одержують при комбінації спостережень і експерименту, зокрема при використанні різних експериментальних підходів до вивчення природних процесів. Адже найпильніші спостереження за природними явищами стосуються лише зовнішнього вияву. Тоді як експериментальні методи дозволяють «зазирнути» усередину організму й навіть клітин, з’ясувати механізми перебігу різних процесів. Наприклад, за зовнішніми ознаками неможливо зрозуміти сутність генетичних процесів, що відбуваються у природних угрупованнях, тоді як використання досягнень молекулярної біології дозволяє точно визначити, яким чином розподіляються гени між особинами в тій чи іншій популяції, гібридизувати між собою близькі види, або за допомогою радіобіологічного методу мічених атомів — ізотопів Карбону — визначити, з якою



Мал. 46.
Дикі гуси
під час міграції



Мал. 47.
Весна в степу



Мал. 48.
У лабораторії

швидкістю відбувається метаболізм у клітинах рослин як протягом доби, так і у різні сезони.

Таким чином, біологія — це наука, що базується на знаннях, отриманих дослідним шляхом під час спостереження об'єктів живого та експериментів з ними, якими можуть бути клітини, організми, сукупність організмів одного чи різних видів. Перш за все в біології використовуються такі методи, як *описовий* і *порівняльний*. **Опис** — це відносно простий метод дослідження, коли явище або об'єкт характеризуються за основними якостями та властивостями. При цьому не використовуються методи точних наук або математичні прийоми. Оскільки все пізнається у порівнянні, то й опис найкраще робити відносно відомих явищ або предметів, які виступають у якості еталону. Збір та опис фактів були основними прийомами досліджень у ранній період розвитку біології. Однак цей метод не втратив свого значення і дотепер його широко використовують у ботаніці, зоології, анатомії, систематиці та інших біологічних науках.



Мал. 49.

Сорти *тюльпанів* — наслідок багаторічної роботи селекціонерів

Ще у XVIII ст. було запроваджено **порівняльний метод**, який дозволив шляхом співставлення вивчати подібність і розбіжність організмів та їх частин. На основі цього методу сформувалася систематика, розроблено клітинну та еволюційну теорії, сформульовано *біогенетичний закон*, *закон подібності зародків*, побудовано філогенетичні системи організмів.

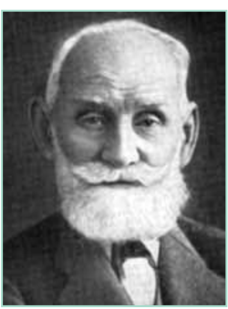


Мал. 50.

Фітотрон може бути не меншим за теплицю

Історія біології доводить, що справжніх успіхів у вивченні живого можна досягти тільки тоді, коли опис поступається дослідженням живих об'єктів і процесів, які відбуваються з ними. Особливе значення мають дослідження, контрольовані і керовані людиною. Такий спосіб отримання наукової інформації називається **експериментальним методом** дослідження і в біології, як правило, використовується в поєднанні з досягненнями інших природничих наук, перш за все хімії та фізики. (*Пригадайте, що послугувало поштовхом до того, щоб біологія стала самостійною наукою.*)

Експериментальний метод — це метод, при якому дослідник вивчає певний ізольований об'єкт або процес і намагається досягнути повторюваності результатів у подібних умовах.



Мал. 51.

І. П. Павлов

І. П. Павлов (1849–1936) (*мал. 51*) стверджував, що спостереження збирає те, що пропонує природа, дослід бере від природи те, що він хоче. (***Наведіть приклади експериментів, які увійшли в історію біологічної науки. Які прилади при цьому використовували науковці?***)

Особливе місце в біології займають методи дослідження в часі. **Історичний метод** широко використовується в систематиці та еволюційній теорії, коли за викопними рештка-

ми вимерлих тварин і рослин (*мал. 52а і 52б*) визначають спорідненість та походження нині існуючих видів.

Ще один метод, який оперує більш короткими часовими відрізками, — **моніторинг** (від лат. *монітор* — той, що нагадує) — постійне спостереження за станом певного біологічного об'єкта, найчастіше за угрупованнями організмів. Так, моніторинг видового складу рослин у біосферному заповіднику Асканія-Нова (*мал. 54*) показав, що за останні 75 років тут з'явилося понад сто нових видів, які витісняють види, властиві європейській степовій зоні, що неминуче приведе до зміни екосистем і в цілому змінить природу заповідника.

Ще один тип моніторингу — генетичний — являє собою реєстрацію кількості спадкових порушень і зіставлення темпу їх нарощування в наступних поколіннях порівняно з попередніми. Наприклад, спеціальні дослідження в пологових будинках Києва, проведені після аварії на Чорнобильській АЕС (*мал. 53*), не довели на той час вірогідного збільшення генетичних вад та спадкових захворювань у новонароджених малюків. (*Прокоментуйте цей факт.*)

Залежно від накопичення фактів виникає необхідність їх систематизації та класифікації, виявлення певних закономірностей, що проводять за допомогою **статистичних методів**, які дозволяють розробити правила збору інформації і допомагають аналізувати величезні масиви даних. Особливого значення статистичні методи набули в сучасній науці з розвитком комп'ютерної техніки і створенням нових інформаційних систем. За їх допомогою можна з точністю визначити надійність результатів і висновків дослідження, вірогідність і силу зв'язку між біологічними явищами, а також вплив одиничних або численних факторів на біологічні процеси. (*Пригадайте, яка біологічна наука виникла завдяки застосуванню статистичного методу дослідження.*)

Розвиток будь-якого наукового пошуку завжди пов'язаний з виникненням **гіпотези** (від грец. *гіпотезіс* — припущення), яка обов'язково потребує перевірки. Одним з найпростіших способів є створення копії (моделі) біологічного явища з подальшим зіставленням процесів, що відбуваються у **моделі** (від лат. *модулюс* — міра, зразок), і тими подіями, які за схожістю виникають у природі. За допомогою таких порівнянь можна одержати науково важливі факти, які неможливо дослідити іншим шляхом. Наочним прикладом такої біологічної моделі слід вважати акваріум (*мал. 55*), існування риб у якому багато в чому схоже на їхнє життя у природній водоймі.

У сучасній біології для створення моделі природного явища все частіше замість фізичних об'єктів використовується математична мова (формули або рівняння) і за допомогою комп'ютерних технологій проводиться



Мал. 52*а*.

Черепашки викопних найпростіших — *форамініферів*



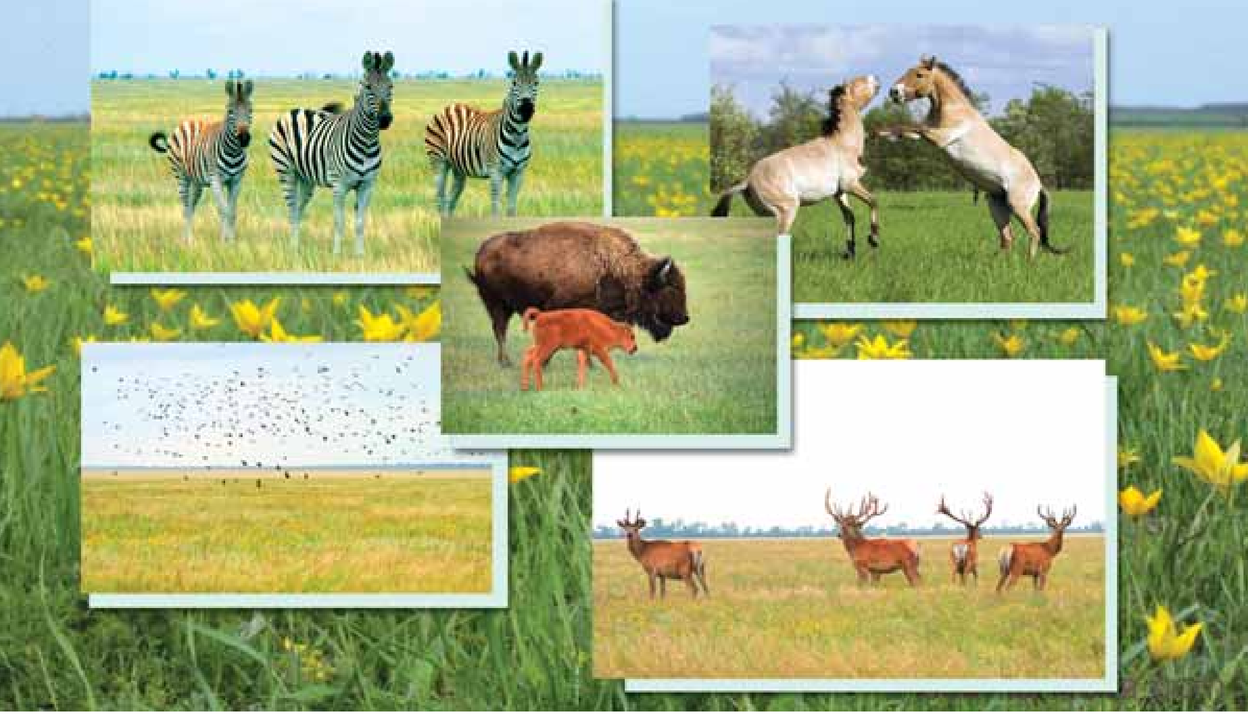
Мал. 52*б*.

Відбитки стародавніх членистоногих — *трилобітів*



Мал. 53.

Так здалеку виглядає Чорнобильська АЕС



Мал. 54.

У заповіднику Асканія-Нова

імітування біологічних процесів, що відбуваються в клітині, організмі або біоценозі. Такий підхід отримав назву **математичне моделювання**, коли гіпотеза подається у вигляді математичної формули, за якою вибудовується гіпотетичний процес, що в подальшому зіставляється з реальними подіями. Якщо реальний процес відповідає гіпотетичному, то це означає: гіпотеза, покладена в основу моделі, адекватна і сформульоване вченим припущення правильне. Якщо такої відповідності не спостерігається, то за характером відхилень між реальним і гіпотетичним процесами можна виявити додаткові чинники, які не були враховані в первинній гіпотезі.



Мал. 55.

Акваріум дає певне уявлення про життя риб

Однією з перших математичних моделей у біології вважається модель Мальтуса, створена у XVIII ст. Вона описує розмноження особин популяції у вигляді геометричної прогресії. Проте в природі чисельність не зростає з такою швидкістю, оскільки до статевозрілого стану доживає дуже незначна частина потомства.

Серед сучасних досліджень заслуговує на увагу спроба моделювання біосферних процесів, здійснена американськими вченими на початку 90-х років минулого століття. В Аризоні було побудовано споруду площею 1,5 га із скляним дахом (*мал. 56*), що пропускав 50 % сонячного світла. Всередині 7 блоків: тропічний ліс, океан, пустеля (*мал. 57*), савана, мангровий естуарій (*мал. 58*), пасовища, житлові приміщення. 8 осіб (4 чоловіки і 4 жінки) та 3000 видів рослин і тварин перебували у герметичній споруді протягом двох років. Однак рівновага швидко була порушена: мікроорганізми і

комахи почали розмножуватись, знищувати сільськогосподарські культури, кисень знизився до 15 %, під склом щоранку утворювався конденсат, який випадав рясним дощем, без вітру (регулярного коливання) дерева ставали крихкими та ламалися. (*Як ви вважаєте, про що свідчать результати цього експерименту?*)

Розвиток наукових знань. Результатами спостережень чи експериментів є отримання нових **фактів** (від лат. *фактум* — зроблене) та їх накопичення. Новий фактичний матеріал дає змогу шляхом умовиводів дійти **гіпотези**, яку необхідно перевірити експериментально. Якщо результати підтверджують наукове припущення, подальше накопичення фактичного матеріалу дозволяє сформулювати наукові узагальнення, якими можуть бути **теорія** (від грец. *теоріа* — дослідження), **принцип** (від лат. *прінціпіум* — початок, основа), **закон** або **вчення**.

Отже, розвиток наукових знань відбувається таким шляхом: факт — умовивід — гіпотеза — експеримент — теорія (закон).

Цей шлях, властивий природничим наукам, зокрема біології, називається **індукцією** (від лат. *індукціо* — наведення) і полягає в накопиченні окремих фактів та їх узагальненні подібно до того, як з окремих ланок утворюється ланцюг. Існує інший шлях пізнання — **дедукція** (від лат. *дедукціо* — відведення).

На певному етапі розвитку науки і накопичення фактів формується загальна теорія кожної науки. Так сталося в механіці й фізиці, де виникли теоретична фізика та теоретична механіка. У біології через значну складність вивчення живих об'єктів, відсутність універсальної теорії життя й унеможливлення цілковитої математизації, **теоретична біологія** вже понад 40 років перебуває на стадії становлення. Саме тому дедукція — метод здобуття нових знань, основою якого є логічно пов'язана ланка умовиводів, у біологічній науці ще не посіла належного місця. (*Пригадайте, хто з літературних героїв досконало володів методом дедуктивного мислення.*) Одним з дедуктивних методів є метод математичного моделювання.

Біологія — це наука, яка має свої ідеї (принципи), а також методи одержання нових знань. У її розвитку провідну роль відіграють спостереження та експерименти, що базуються на використанні досягнень точних наук (фізики, хімії, математики).

Сучасна біологія ґрунтується на інформаційних технологіях, статистичному аналізі величезних масивів даних і математичному моделюванні.

Розвиток наукових знань у біології відбувається таким шляхом: факт — умовивід — гіпотеза — експеримент — теорія (закон).



Мал. 56. Біосфера-2 (ззовні)



Мал. 57. Біосфера-2. Пустеля



Мал. 58. Біосфера-2. Мангровий естуарій

Перевірте себе

1. Що таке методологія?
2. Яким біологічним наукам властиве спостереження, а яким — експеримент? Наведіть приклади.
3. Що є джерелом одержання знань у біології?
4. Які наукові методи в біології є основними?
5. Що таке моделювання?
6. Яка гіпотеза називається адекватною?
7. Назвіть складові індуктивного способу пізнання дійсності.

Як ви вважаєте?

1. Чому біологія — це наука, що базується на фактах, отриманих дослідним шляхом?
2. Наведіть приклади випадків успішного застосування методів математичного моделювання не тільки в біології, а й в інших науках (фізиці, астрономії, хімії).
3. Які переваги методу моделювання над експериментом?
4. Які досягнення в біології були отримані шляхом індукції?

Практична робота № 1

Планування біологічних досліджень

Мета: формувати навички планування біологічних досліджень

ІНФОРМАЦІЯ

Біологічне дослідження — це діяльність, спрямована на всебічне вивчення біологічного об'єкта, процесу або явища, їх структури та зв'язків, а також отримання і впровадження в практику корисних для людини результатів.

Планування біологічного дослідження — послідовність дій, що дозволяє зібрати необхідний матеріал з проблеми дослідження, проаналізувати його та зробити правильні висновки.

Етапи біологічного дослідження (орієнтовний план):

1. Обґрунтування актуальності теми дослідження.
2. Постановка мети і завдань дослідження.
3. Визначення об'єкта дослідження.
4. Узагальнення наявної наукової інформації з теми дослідження.
5. Висування гіпотез.
6. Вибір методів дослідження.
7. Проведення практичної частини дослідження, реєстрація якісних і кількісних результатів.
8. Аналіз та інтерпретація отриманих результатів.
9. Формулювання висновків і визначення практичного значення отриманих результатів.

ХІД РОБОТИ

Складіть план біологічних досліджень, що мають на меті:

1. Виявити ознаки пристосованості у зовнішній будові дощового черв'яка та крота до існування в ґрунті.
2. Встановити значення сім'ядоль та ендосперму для росту і розвитку насіння.
3. Визначити вплив умов середовища на розвиток інфузорій в акваріумі.
4. Дослідити видовий склад рослинності заплави.

Зробіть загальний **висновок** з роботи.



Практична робота № 2

Використання порівняльно-описового методу у вивченні різноманітності інфузорій та їх руху

Мета: ознайомитися з методикою культивування інфузорій, дослідити різноманітність інфузорій на основі вивчення їх морфологічних особливостей, здійснити спостереження за рухом інфузорій

Обладнання, матеріали та об'єкти дослідження: змішана культура живих інфузорій, предметне і покривне скельця, мікроскоп, піпетка, препарувальна голка, вата, фільтрувальний папір, скляна паличка, вода, кілька зерняток рису, замочених у воді протягом кількох діб, розчин оцтової кислоти (ω = 2 %), кристалики кухонної солі

ІНФОРМАЦІЯ

Порівняльно-описовий метод дослідження ґрунтується на результатах анатомо-морфологічного аналізу біологічних об'єктів.

Примітка. Виконанню роботи передує приготування змішаної культури інфузорій у поживному середовищі. Для цього у дві скляні банки (0,5 л) покладіть сіно шаром 2 см і долийте дощової або водопровідної води приблизно на третину банки. Накрийте банки склом і помістіть їх у тепле місце так, щоб прямі сонячні промені не потрапляли на вміст банок. Через 3–4 дні долийте в банки по 100 мл води з різноманітних стоячих або слабопроточних водойм (озеро, ставок, стариця тощо), на дні яких є рослинність, що гниє, або стільки само води з акваріума. З водою слід взяти трохи мулу з дна водойми або листочків з акваріума, які гниють. Залиште у місці, що не освітлюється прямими сонячними променями. Через 3–4 дні в кожній посудині перебуватимуть культури інфузорій. Для виконання практичної роботи слід досліджувати інфузорій у краплі культури, відібраній піпеткою з кожної посудини.

ХІД РОБОТИ

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. Виготовте тимчасовий мікропрепарат: на предметне скельце піпеткою помістіть краплину культури інфузорій і накрийте покривним скельцем.
3. Розгляньте інфузорій при малому збільшенні мікроскопа. Для уповільнення руху одноклітинних слід обережно відтягти з-під покривного скельця воду фільтрувальним папером.
4. Розгляньте інфузорій при великому збільшенні мікроскопа. Зверніть увагу на форму тіла інфузорій, їх розміри та основні частини, розташування війок, особливості руху. За визначником ідентифікуйте інфузорій, що зустрічаються в цій культурі, складіть таблицю на основі отриманих відомостей.

5. Проведіть спостереження за рухом інфузорій як реакцією на дію різних чинників. На предметне скельце за допомогою піпетки помістіть 1–2 краплі культури інфузорій, на відстані 1 см від неї — стільки ж чистої води. Препарувальною голкою з'єднайте краплі водяним містком. Чи відбуваються зміни в русі інфузорій? Цією самою голкою до краю культури з найпростішими підсуньте кристалик кухонної солі. Як змінюється напрямок руху інфузорій?
6. До культури інфузорій на предметному скельці нанесіть одну краплю оцтової кислоти і спостерігайте за рухом найпростіших у краплину з чистою водою.
7. Помістіть зернятко рису, що перебувало у воді кілька діб, у краплину з чистою водою. Що спостерігаєте?
8. Проаналізуйте спостережувані особливості руху інфузорій, вкажіть їх причини. Дайте характеристику руху інфузорій, скориставшись наведеним переліком: прямолінійний, коливальний, маятникоподібний, хаотичний, повільне переміщення, швидке переміщення, колові рухи навколо власної осі, рух поштовхами, тупим кінцем уперед, гострим кінцем уперед, у напрямку до подразника, у напрямку від подразника.
9. Зробіть **загальний висновок** з роботи, в якому зазначте:
   - значення порівняльно-описового методу у вивченні різноманітності організмів;
   - чим у проведеному дослідженні обумовлений рух інфузорій;
   - ознаки живого, які ви спостерігали на прикладі інфузорій.

Семінар 1. Біологія в обличчях

Інформація до роздумів. Один із засновників молекулярної біології, автор моделі просторової структури ДНК американський генетик Дж. Вотсон закликає вчених приділяти увагу не лише аспектам дослідження, а й проводити просвітницьку роботу, роз'яснювати цінність результатів наукових даних. З 1989 р. він — організатор і керівник проекту «Геном людини», діяльність якого спрямована на розшифрування послідовностей ДНК людини. Вчений вважає, що вивчення будови і різноманітності геномів різних видів живих істот, якою займається окрема наука геноміка, приводить не тільки до появи знань з цього предмета, тобто має не тільки теоретичне значення, але й практичне, оскільки може стати науковою основою для виявлення причин спадкових хвороб. Знання, отримані при вивченні геному людини, визначать нові напрямки в біотехнології, що зможе сприяти отриманню комерційно привабливих продуктів.

Дж. Вотсон також розробив перелік правил успішного сучасного науковця, куди включив такі пункти: • наукою треба «горіти»; • науковець повинен мати свободу у виборі проблем дослідження та вміти побачити конкретний результат роботи; • бажано працювати у колективі рівних за інтелектуальним рівнем людей, а обговорювати результати досліджень варто лише з видатними науковцями; • зайва (надмірна) ерудованість може завадити під час проведення досліджень; • корисно бути трішки «незнайкою»; • треба докладати максимум зусиль, щоб стати «номером один» у своїй сфері діяльності; • отримати певні результати замало, треба вміти їх презентувати; • конкретна мета не виключає імпровізацію.

Дискусійні питання

1. Ці правила успішного науковця дійсно суттєво відрізняються від загальноприйнятої думки про те, що успішними вченими стають учні та студенти зі зразковою поведінкою. Чи поділяєте ви погляди Вотсона?
2. Наскільки універсальними є ці правила? Що можна до них ще додати?

Теми доповідей

1. Життєвий і науковий шлях видатного біолога минулих століть. В доповіді бажано розкрити такі питання, як: біографічні відомості; життєва позиція;

сфера наукових інтересів; освіта; історичні передумови наукових пошуків; об'єкти досліджень; напрями біологічних досліджень; основні результати наукової роботи, їх оцінка сучасниками; хибні переконання, їх причини і наслідки; розвиток ідей послідовниками; основні наукові праці. Спробуйте визначити основні передумови досягнення вченим успіху в науковій роботі.
2. Значення наукових пошуків для сучасного розвитку цивілізації.

Джерела інформації

Уотсон Д. Д. Двойная спираль. Воспоминания об открытии структуры ДНК. — М.: Мир, 1969.
http://n-t.ru/nl/mf/watson.htm
http://www.rg.ru/2008/07/09/yotson.html
http://elementy.ru/lib/430622

Семінар 2. Українські вчені-біологи

Інформація до роздумів. Значним був внесок українських вчених у вивчення хімічних і молекулярних основ життя. Серед найвідоміших науковців цього напряму біологічних досліджень слід, перш за все, згадати академіків В.І. Вернадського та С. М. Гершензона.

Вернадський Володимир Іванович (1863–1945)

Український і російський геолог, біогеохімік, академік Національної академії наук України (з 1919) і її перший президент (1919–1921), академік Російської академії наук (з 1912). Один із засновників вчення про біосферу. Народився в Петербурзі. Закінчив Петербурзький університет (1885). У 1886–1888 рр. працював у Мінералогічному музеї Петербурзького університету. З 1890 р. приват-доцент, в 1898–1911 рр. — професор Московського університету. З 1914 р. — директор Геологічного і мінералогічного музею Петербурзької Академії наук. У 1917–1921 рр. працював в Україні, будучи академіком-фундатором, брав активну участь у створенні НАН України. Є засновником Інституту загальної і неорганічної хімії НАН України. У 1922–1939 рр. — директор Радієвого інституту, в 1928–1945 рр. — директор лабораторії геохімічних проблем АН СРСР, завідувач біогеохімічної лабораторії.

Наукові інтереси Вернадського охоплювали широкий спектр проблем. Його вважають засновником геохімії, зокрема біогеохімії. Він провів перші дослідження закономірностей будови і складу земної кори, гідросфери і атмосфери. Вивчав міграцію хімічних елементів у земній корі. Саме Вернадський є творцем теорії провідної ролі живих істот в геохімічних процесах. Його праці визначили головні напрями розвитку сучасної мінералогії.

Незважаючи на те, що за фахом Вернадський був геологом, він — автор багатьох пріоритетних досліджень у біології. Останні 20 років свого життя науковець присвятив вивченню хімічного складу тварин і рослин. Першим встановив зв'язок між мікроорганізмами і певними геологічними процесами. Саме він дав наукове визначення біосфері, а сукупність організмів біосфери назвав живою речовиною, яка, трансформуючи сонячне випромінювання, залучає неорганічні речовини в кругообіг. Він також є автором низки філософських праць із проблем природознавства, а також з історії науки.

З метою увіковічення пам'яті цього великого вченого в Україні на його честь названо одну з найбільших наукових бібліотек країни, а в Російській академії наук засновані золота медаль і премія імені В.І. Вернадського.

Гершензон Сергій Михайлович (1906–1998)

Видатний вітчизняний генетик, академік НАНУ (1976). Один із небагатьох вчених-біологів — Герой соціалістичної праці. Народився в Москві. Закінчив Московський університет (1927). В 1931–1935 рр. працював у Москві в Біологічному інституті ім. К.А. Тимірязєва, в 1935–1937 рр. — в Інституті загальної генетики ім. М.І. Вавилова Російської академії наук. В 1937–1948 рр. — завідувач відділом Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена, одночасно завідуючи кафедрою генетики і дарвінізму Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. У 1948–1958 рр. — в період, коли було репресовано багато вчених-генетиків, його практично усунули від наукової і викладацької роботи і він дивом залишився живим. У 1963–1968 рр. — заступник директора Інституту мікробіології і вірусології НАНУ, в 1968–1973 рр. — завідувач сектора молекулярної біології і генетики АН УССР. В 1973 р. — перший директор Інституту молекулярної біології і генетики НАНУ.

С.М. Гершензон — видатний еволюціоніст і генетик-експериментатор. Відкрита ним мутагенна дія ДНК, яку він описав у своїй статті (разом із М. Тарновським та П. Ситко), вважається першим експериментальним доказом того, що саме ДНК є найважливішою речовиною генетичних процесів. Але, на жаль, Нобелівську премію за це відкриття пізніше отримав інший науковець — Герман Меллер. Окрім хімічного мутогенезу, Сергій Гершензон виявив феномен «генів, що втекли» та зворотню транскрипцію. Однак Нобелівській комітет не помічав досягнень радянських вчених, оскільки на той час відбувалися гоніння в СРСР на генетику. С. Гершензон є автором пріоритетних досліджень з молекулярної структури вірусів комах. Значну увагу приділяв теоретичним питанням біології, зокрема ідеї еволюційного розвитку живого.

Теми доповідей

1. Український період життя та творчості В.І. Вернадського.
2. Біогеохімія: об'єкт, предмет, завдання, практичне значення результатів наукових досліджень.
3. ДНК — головна генетична речовина.
4. Репресії проти генетики і генетиків у Радянському Союзі в 1948–1963 рр.

Джерела інформації

Вернадский В. И. Размышления натуралиста: научная мысль как планетарное явление. — М: Наука, 1977. — 191 с.
Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера — М: Наука,1989. — 262 с.
Вернадский В. И. Дневники. 1917 — 1921 гг. — К: Наукова думка, 1994. — 270 с.
Вернадський В. І. Вибрані праці. — К: Наукова думка, 2005. — 300 с.
Вернадський В. І.: Громадянин, вчений, мислитель. — К.: Наукова думка, 1992. — 93 с.
Гершензон С. М. Основы современной генетики. — 2-е изд. — К.: Наукова думка, 1983. — 558 с.
Гершензон С. М. Тропою генетики. — К.: Наукова думка, 1992. — 176 с.
http: //ru.wikipedia.org
http: //scepsis.ru/library/id_1794.html

Тема 2. Системна організація живої природи

§6. ОЗНАКИ І ВЛАСТИВОСТІ ЖИТТЯ

Терміни та поняття: самооновлення, самовідтворення, саморегуляція, індивідуальний і філогенетичний розвиток, подразливість, мінливість, спадковість, розмноження, рух.

Спільні властивості живого. Живі істоти мають ряд властивостей, які доводять, що вони підкоряються одним і тим самим законам, тобто за певних умов живі істоти могли виникнути від неживих. Разом з тим, живі істоти мають властивості й особливості будови, що свідчать про їхню унікальність та про єдність життя на Землі.

До числа фундаментальних властивостей, що характеризують життя, належать: **самооновлення, самовідтворення, саморегуляція**. Ці властивості зумовлюють основні атрибути життя: єдність хімічного складу, обмін речовин і енергії, подразливість, гомеостаз, репродукцію, спадковість, **мінливість**, **індивідуальний** і **філогенетичний розвиток**.

1. Єдність хімічного складу.

Живі організми містять близько 80 хімічних елементів періодичної системи Д. І. Менделєєва.

До кінця XIX ст. вважалося, що у своїй основі життєві процеси відрізняються від процесів, які відбуваються в неживій природі. Проте успіхи природничих наук довели, що біологічні процеси ґрунтуються на фізичних і хімічних явищах. Звичайно, в живих організмах відбуваються значно складніші процеси, ніж у неживій природі, але для їх розуміння зовсім не потрібно залучати таємничу «життєву силу». Нині досягнення експериментальної біології дають можливість відтворити чимало біологічних процесів. (*Пригадайте, яких хімічних елементів найбільше у неживій природі.*)

2. Клітинна будова. Усі живі організми складаються з клітин.

У середині XIX ст. вже було відомо, що кожний організм складається з клітин — елементарних структурних одиниць, здатних до самостійного функціонування. Зародження нового організму, як правило, відбувається шляхом злиття спеціальних статевих клітин, а ріст і розвиток — завдяки поділу клітин.

Основною речовиною, з якої складаються клітини, є білок. Усі білки різноманітні за структурою, і у

будь-якому організмі містяться сотні або тисячі різних білків. Відносна молекулярна маса білків коливається в межах від кількох тисяч до кількох мільйонів. (*Порівняйте з молекулярними масами неорганічних сполук: натрій гідроксиду — 40, вуглекислого газу — 44, сульфатної кислоти — 98.*)

3. Живлення. Будь-який організм для підтримування власного стану, росту та розмноження потребує енергії й речовини, які він отримує лише з навколишнього середовища. Як вам відомо, рослини використовують енергію Сонця, а неорганічні речовини до їхнього організму надходять з повітря та ґрунту. Органічні речовини рослини синтезують самостійно. (*Пригадайте, що таке фотосинтез.*) Тварини, гриби і більшість мікроорганізмів живляться іншими організмами або залишками тварин і рослин, оскільки не здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних. (*Пригадайте, що таке прокаріоти.*)



Мал. 59.
Землерийка-бурозубка — найненажерливіша серед звірів

4. Обмін речовин та енергії. Для всіх живих істот властивий обмін речовин — сукупність керованих хімічних реакцій, внаслідок яких організм одержує і перерозподіляє енергію, синтезує необхідні для **життєдіяльності** речовини. Слід зазначити, що речовини, утворені організмом, рано чи пізно руйнуються і тому в ньому постійно йде самооновлення. Це приводить до стабільності його внутрішнього стану, що досягається завдяки роботі окремих органів, які регулюють процеси в організмі. За рахунок цього живі тіла здатні пристосовуватися до змін в навколишньому середовищі. Здатність живих істот регулювати внутрішній стан та стосунки з довкіллям називається **саморегуляцією** і є важливою ознакою живого.



Мал. 60.
Леви, їх чомусь вважають хижаками-людоїдами

У неживій природі також існує обмін речовин. Однак під час небіологічного кругообігу речовини лише переносяться з місця на місце або змінюють свій агрегатний стан, наприклад: припливи або відпливи, перенесення каміння річковим потоком або піску вітром, зсув ґрунту, перетворення води у пару або ж лід тощо.

У живому організмі постійно відбувається обмін речовин та енергії, що забезпечує сталість хімічного складу та будови усіх його частин, функціонування організму, реакцію на зміни умов у навколишньому середовищі.

Цікаво, що чим менші за розмірами ссавці, тим більше їжі пропорційно масі тіла їм потрібно. Менша тваринка має більшу поверхню тіла відносно об’єму, а отже, швидше втрачає тепло, тому в холодному кліматі їй ледве вистачає часу вдень, щоб наїстися. Так, наприклад, землерийка (*мал. 59*) змушена з’їдати стільки ж їжі,

скільки важить сама, а тригодинне голодування загрожує їй смертю. Для порівняння: лев (*мал. 60*) у середньому за добу має з'їдати у 40 разів менше власної ваги. (*Визначте, скільки за рік мав би з'їдати лев, якщо його обмінні процеси були б подібні до енергетичного обміну землерийки.*)

Крім того, живий організм підтримує сталість свого хімічного складу та інтенсивність перебігу фізіологічних процесів. У разі недостатнього надходження певних поживних речовин він мобілізує свої внутрішні ресурси, а у разі надлишку — запасає їх. Подібні реакції здійснюються різними шляхами завдяки діяльності регуляторних систем (у людини та ссавців — ендокринної та нервової). Сигналом для відповідної реакції може слугувати зміна концентрації будь-якої речовини або стану будь-якої системи. Так, підвищення концентрації глюкози у крові здорової людини приводить до збільшення вироблення інсуліну — гормону підшлункової залози, що зменшує концентрацію цукру в крові. У разі травми інтенсифікується процес поділу клітин, після загоєння рани поділ припиняється.

5. Розмноження. Живі організми розмножуються, тобто здатні до самовідтворення.

Жоден організм, навіть найдосконаліший, не може жити вічно. Тому єдиний спосіб підтримування життя на Землі — розмноження. Цей процес завжди супроводжується збільшенням кількості особин, що забезпечує безперервність життя.

6. Індивідуальний розвиток. Усім живим істотам властивий індивідуальний розвиток.

Навіть одноклітинний організм після поділу має менші розміри, ніж материнська клітина, тому, щоб бути здатним до розмноження, він повинен підрости.



Мал. 61. Однояйцеві близнюки — генетично ідентичні організми

Організми, що складаються з багатьох клітин, як правило, починають свій життєвий шлях від однієї клітини — зиготи — і, розвиваючись, перетворюються на здатний до розмноження організм, який складається з тисяч, мільйонів і навіть мільярдів клітин. У процесі росту й розвитку організму відбувається старіння, яке зрештою спричинює смерть.

Здатність до розвитку — загальна властивість матерії. Відомо, що тривалість життя рослин може коливатися від одного року до десятків та навіть тисяч років. У XVIII ст. французький натураліст Ж. Бюффон визначив, що тривалість життя перевищує період росту в 5–7 разів. Наприклад, собака росте 2 роки, живе — 15, велика рогата худоба — 4 і 20 років відповідно, коні — 5 і 30–40 років, верблюд — 8 і 40 років тощо. Виходячи з цих і додаткових даних, О.О. Богомолець, І.І. Шмальгаузен та інші вчені дійшли висновку, що природна тривалість життя людини

може досягати 120–150 років. Однак цей коефіцієнт не може вважатися універсальним.



Мал. 62.
Гепард — представник родини котячих, який за деякими ознаками нагадує собаку



Мал. 63.
Косатка — найкрупніший хижак, що живе на Землі



Мал. 64.
Сокіл-сапсан — рідкісний вид, занесений до Червоної книги України

7. Спадковість, мінливість. Від живої істоти народжуються тільки подібні істоти, проте у природі немає абсолютно однакових живих організмів.

Найважливішою рисою живого є передавання у спадок наступним поколінням ознак, властивих не лише певному виду, а й конкретним батьківським особинам. Ця властивість живих істот називається **спадковістю**, а її матеріальним носієм є ДНК, що складає генетичний апарат клітини. Генетично ідентичними організмами є однояйцеві близнюки (*мал. 61*). У ранньому віці їх ледве розрізняє навіть мати, але близнюки ростуть, розвиваються, дорослішають, згодом старішають, і протягом усього життя дедалі більше відрізняються одне від одного. Адже в кожного з них власна доля і власна історія стосунків з навколишнім світом, що позначається на зовнішності. От і виходить, що навіть близнюки, які мають ті самі спадкові риси, зовні відрізняються. Властивість організмів набувати нових ознак у процесі індивідуального розвитку називається **фенотиповою** (від грец. *фено* — являю і *типос* — форма, зразок) **модифікаційною** (від лат. *модифікаціо* — зміна) **мінливістю**. (*Спробуйте пояснити зміст цього нового поняття.*) Існує й інша мінливість — **генотипова** (від грец. *генос* — походження), в основі якої лежить процес зміни спадкової інформації — генів, що визначають розвиток певних ознак. Тому навіть рідні брати та сестри завжди відрізняються одне від одного вагою, зростом, кольором очей, волоссям, пропорціями тіла, особливостями внутрішньої будови. Мінливість створює різноманітний матеріал для **природного добору**, суть якого полягає у кращому пристосуванні конкретних особин до змінних умов існування, що у свою чергу приводить до появи нових форм життя, нових видів організмів. (*Пригадайте відомі вам приклади пристосування організмів до різноманітних умов існування.*)

Таким чином, мінливість — це здатність організмів набувати нових ознак і властивостей або внаслідок змін у біологічних матрицях, або у процесі індивідуального розвитку.

8. Рух і подразливість. Усі організми здатні рухатися і реагувати на зовнішні подразники.

Усі живі істоти здатні до переміщення у просторі, хоча швидкість цього процесу різних видів живого є неоднаковою. (*Згадайте, як рухаються рослини.*)

Здатність організмів реагувати на зовнішні зміни називають **подразливістю**. Вона проявляється не лише зовнішніми реакціями, серед яких найбільш звичай-

ним є переміщення, а насамперед — на рівні перебігу хімічних реакцій у клітині. Тварини реагують на подразник негайно, що пояснюється наявністю в них нервової системи і здатністю до активного руху, а в рослин подібна відповідь на подразнення може тривати кілька днів.

Щодо руху, то якби можна було улаштувати перегони серед тварин, у числі переможців опинилися б: у групі ссавців — гепард (*мал. 62*) — 100 км/год, косатка (*мал. 63*) — 55 км/год, у птахів — страус — 65 км/год (біг), сапсан (*мал. 64*) — 200 км/год (вертикальний політ), довгоносий крохаль — понад 100 км/год (горизонтальний політ); у риб — марлін (*мал. 65*) — 85 км/год (але найшвидша риба — риба-міч, яка може розганятися до120–130 км/год); у комах — бабка — 58 км/год (комаха-літун), тарган — 4,6 км/год (комаха-бігун), сольпуга — 16 км/год (павукоподібні). Аутсайдерами перегонів були б: гігантська галапагоська черепаха (*мал. 66*) — 370 м/год, равлик — 15 см/хв, лінивець трипалий (*мал. 67*) — 5 м/хв. (*Поясніть, якими об'єктивними факторами обумовлена така різниця у швидкості руху тварин. Обґрунтуйте свою відповідь. Доповніть список «учасників перегонів» як окремими організмами, так і систематичними групами.*)



Мал. 65.

Подібний до меч-риби за будовою тіла *марлін смугастий* може розганятися до 85 км /год



Мал. 66.

Галапагоська черепаха має масу 310 кг, недарма її ще називають слоновою

Живі істоти мають ряд спільних властивостей, що доводять єдність життя на Землі. Певні властивості є спільними для тіл живої та неживої природи, інші — специфічні для живого і дають змогу зрозуміти, що таке життя.

Перевірте себе

1. Назвіть властивості, притаманні неживій природі та живим організмам.
2. У чому полягають особливості будови живих істот?
3. Що доводить єдність життя на Землі?
4. Оберіть будь-який об'єкт живої природи та на його прикладі спробуйте описати щонайбільше ознак живого.

Як ви вважаєте?

1. Чому лишайники, які ростуть на каменях, не належать до істот, здатних жити поза угрупованням з іншими організмами?
2. У чому полягає наукова цінність доведення єдності складу живих істот і тієї обставини, що організми підпорядковані законам фізики?
3. Чому фізичний закон збереження і перетворення енергії є важливим і для біології?
4. Чому самовідновлення, саморегуляцію та самовідтворення вважають фундаментальними ознаками живого?



Мал. 67.

Лінивець трипалий — їжу в шлунку перетравлює протягом місяця

§7. ЖИТТЯ ЯК БІОЛОГІЧНА КАТЕГОРІЯ

Терміни та поняття: життя, редукціонізм, холізм.

Чи просто дати визначення поняттю «життя». Будь-яка людина без особливих зусиль відрізняє живі організми від неживих тіл. Ще у давнину людина чітко поділила навколишній світ на живу та неживу природу. До живих об'єктів було віднесено людей, тварин і рослини, а до неживих — воду, пісок, камені, а також трупи тварин і залишки рослин. Перші дослідники, побачивши одноклітинні істоти в мікроскоп, теж відразу визначили, що це саме живі організми, а не пил. Тому, на перший погляд, здається, що немає нічого більш простішого, ніж дати наукове визначення поняттю «*життя*». Проте формулювання цього визначення, яке однозначно відповідало б усім властивостям живих організмів, і дотепер викликає суперечки.

Багато вчених і філософів минулого, наприклад І. Кант, Ж.Б. Ламарк, робили спроби дати визначення поняття *життя*. Але ці визначення були тільки наукоподібними і досить абстрактними: життя — це «протилежне смерті», «душа світу», «рівняння Всесвіту». Зрозуміло, що за ними складно відрізнити живе від неживого.

Така складність із окресленням сутності життя невипадкова, оскільки межа між живою й неживою природою певною мірою є умовною. Адже життя — це тільки рівень розвитку матерії, а закони природи — єдині для всього матеріального світу. Неживі тіла так само, як і живі переносять речовини й енергію, а деякі створені людиною механізми здатні самостійно рухатися і навіть реагувати на зовнішні подразники, тобто за цими ознаками вони не відрізняються від живих. Важливим критерієм живого є здатність до розмноження — відтворення подібних до себе, однак не всім живим істотам притаманна ця властивість. Наприклад, робочі бджоли чи мурашки не здатні залишати нащадків — вони *стерильні* (від лат. *стерíліс* — безплідний). Такі особини зустрічаються серед людей, тварин і рослин, генетичний апарат яких має суттєві пошкодження. Однак всі вони є живими. Важливим критерієм живого є ріст та розвиток, але і кристали здатні рости. Саме тому в своїй системі живих істот К. Лінней розподілив живе на три царства: Рослини, Тварини і Кристали.

Особливим явищем, проміжним станом між живим і неживим є *віруси* (від лат. *вірус* — отрута) — неклітинні утворення. Вони, хоча і складаються, як усі живі істоти, з білків і нуклеїнових кислот, однак не здатні до самовідтворення поза організмом хазяїна, не живляться, а також в

них немає обміну речовин, тобто, на відміну від живих істот, віруси не здатні до самооновлення та саморегуляції.

У XVIII–XIX ст. був розповсюджений *механічний погляд* на природу, згідно з яким живі організми розглядались як механізми, що відрізняються від створених людиною лише складністю будови. Прибічником цих поглядів був німецький мислитель Фрідріх Енгельс (1820–1895), який розглядав життя як особливу форму руху матерії. Теоретичною основою таких поглядів було те, що тіла як живої, так і неживої природи складаються з однакових хімічних елементів та пов'язані між собою потоком елементів, обміном речовин і енергії.

Що таке редукціонізм і що таке холізм. Живі істоти мають як свої особливі властивості, так і підпорядковуються загальним законам матеріального світу. (*Пригадайте, яким законам фізики, механіки та хімії підкоряється життєдіяльність живих істот.*) Проте одні вчені, що займаються вивченням основ життя на клітинному чи молекулярному рівні, у своєму пізнанні йдуть від складного до простого, зводячи всю складність життя до простих хімічних і фізичних процесів, належать до **редукціоністів** (від лат. *редукціо* — повернення), тоді як інші — **холісти** (від англ. *хоул* — цілий) — це, як правило, вчені, що вивчають природні угруповання, розглядають життя як особливу категорію, яка не може бути зведена до простих фізико-хімічних процесів. Дійсно, з одного боку, навіть вивчивши усі фізичні та хімічні процеси, що відбуваються в нервовій клітині людини, неможливо зрозуміти механізм мислення, з другого — немає іншого шляху пізнання цілого, крім його поділу на певні частини. Саме таким і є шлях біології, яка, з одного боку, вивчає цілісні тіла і явища, а з іншого — їх складові.

Холісти розглядають світ як вищу цілісність, яка включає психічну, біологічну та фізичну сфери дійсності. Засновник цього вчення Я. Сметсон (1870–1950) наголошував: «Ціле більше, ніж сума його частин».

Рене Декарт (1596–1650) — прибічник редукціонізму — наводив такий приклад: «...тіло живої людини так само відрізняється від тіла мертвої, як годинник... коли він зібраний і має матеріальні умови задля тих рухів, для яких він призначений... від — зламаного, позбавленого умов руху». (*Чиї погляди вам ближчі?*)

Поняття *життя* та його сутність. Вивчивши спільні властивості живого, вчені дійшли згоди, що для формулювання визначення поняття *життя* треба виділити спільні властивості живих істот. Живі істоти: • складаються з клітин; • живляться, поглинаючи речовину й енергію з навколишнього середовища, здійснюють обмін речовин, здатні до самооновлення і саморегуляції; • здатні до самовідтворення, тобто розмножуватися завдяки

наявності генетичного апарату, що складається з ДНК, залишаючи потомство, яке зберігає основні властивості батьків; • відповідають на зовнішні подразники; • ростуть і розвиваються, тобто за час свого існування збільшуються в розмірах і змінюються зовні.

«Життя — це спосіб існування білкових тіл, і цей спосіб існування передбачає постійне самооновлення хімічних складових частин цих тіл, обмін речовин з навколишнім середовищем. У разі припинення цього процесу припиняється і життя, що призводить до розкладання білка», — таке визначення поняття *життя* дав Ф. Енгельс понад 100 років тому, але воно і в наш час не втратило актуальності. Це визначення охоплює такі принципові положення біологічної науки, які були експериментально отримані та науково обґрунтовані: життя тісно пов'язане з білковими тілами; постійний обмін речовин — необхідна умова існування усіх живих об'єктів і живої природи.

Сучасні дослідження вимагають редагування та доповнення трактування поняття. Так, російський біофізик М.В. Волькенштейн (1912–1992) запропонував таке: «Живі тіла, які існують на Землі, являють собою відкриті саморегулюючі та самовідтворюючі системи, побудовані з біополімерів — білків та нуклеїнових кислот».

Одне з найбільш лаконічних визначень сформулював російський науковець В.П. Сержантов (1919–1998): «Життя — сукупність ієрархічно організованих систем, що мають внутрішню активність». (*Яке визначення, на вашу думку, є найбільш вдалим? Чому?*)

Одним з найбільш складних питань біології є визначення поняття *життя*. Для всіх живих організмів характерний ряд властивостей, серед яких фундаментальними є саморегуляція, самовідновлення й самовідтворення. Крім того, всі організми без винятку складаються з клітин і білків, мають генетичний апарат, побудований з ДНК.

Перевірте себе

1. У чому полягає неоднозначність визначення поняття *життя*?
2. Які властивості живих істот треба виділити при визначенні поняття *життя*?

Як ви вважаєте?

1. Чому філософи так і не змогли дати визначення поняття *життя*? Спробуйте сформулювати власне визначення.
2. Чому вчені вважають, що життя на інших планетах, якщо воно є, повинно створюватися за тими самими принципами, що й на Землі?

§8. БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ І РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОГО

Терміни та поняття: система, елемент, адаптація, рівні організації живого, організм, популяція, вид, екосистема, біогеоценоз, біосфера.

Що таке система. Живі організми є **системами** (від грец. *сістема* — утворення), тобто вони побудовані із структурних одиниць — **елементів** (від лат. *елементум* — складова частина чогось), які пов'язані між собою взаємовідносинами, що базуються на певних законах. Саме ці закономірності й обумовлюють особливості біологічних систем: їх цілісність, здатність до саморегуляції та самовідтворення, до розвитку та **адаптації** (від англ. *адапто* — пристосовуватися) — пристосування організму до певних умов середовища.

Важливою особливістю біологічних систем є їх відкритість. Це означає, що живі тіла є динамічними, проте сталими утвореннями, які постійно споживають енергію ззовні.

Простим прикладом відкритої системи є басейн, у який по одних трубах надходить вода, а по інших — витікає. Таким чином, постійно відбувається оновлення при збереженні статусу. До відкритих систем відносяться усі типи двигунів, які працюють при постійному доступі палива чи електроенергії ззовні. Подібно до машини, живі організми існують лише за умови постійного отримання енергії та речовин.

Рівні організації живого. Будова живих організмів значно складніша, ніж будова неживих. Причиною цього, насамперед, є багаторівневість організації живого на Землі. Живі істоти складаються з клітин, які утворюються молекулами, клітини в свою чергу утворюють організми, а ті — угруповання організмів, що формують живу оболонку нашої планети. Ці біологічні утворення називаються **рівнями організації живого** і розташовані відповідно до *принципу ієрархії* (від грец. *хієрос* — священний і *архе* — влада). Практично на кожному з рівнів утворюються свої біологічні системи, яким притаманні власні особливості прояву життя.

Молекулярний рівень. Це найнижчий рівень організації живого.

На думку одних науковців, процеси, що відбуваються на цьому рівні, ще не мають біологічної специфіки, а являють собою фізико-хімічні перетворення молекул. Інші переконують, що саме з нього починаються найважливіші процеси життєдіяльності організму: обмін речовин, перетворення енергії, передача спадкової інформації, мутації тощо. (*Поясніть такі розбіжності у поглядах науковців.*)

Молекулярний рівень є своєрідною межею між неживою та живою природою. Структурними елементами цього рівня є макромолекули біологічно важливих органічних речовин (наприклад білків, нуклеїнових кислот та інших), оскільки вони входять до складу будь-якої біосистеми. Процеси, що відбуваються на молекулярному рівні, є матеріальною основою ознак і властивостей живого, як-от: обмін речовин, передача спадкової інформації тощо. Вивченням молекулярного рівня займаються молекулярна біологія, біохімія, ензимологія, біохімія ліпідів, фізична хімія біополімерів, біофізика, генетика.



Мал. 68.
Взимку *крижні* утворюють скупчення навіть у великому місті

Клітинний рівень, елементами якого є клітини — найпростіші біологічні системи. Це рівень життєдіяльності організму, з якого, власне, і розпочинаються біологічні процеси, а не просто хімічні реакції. В історії нашої планети був такий період (перша половина архейської ери — понад 3,5 млрд. років тому), коли всі живі організми знаходились на цьому рівні організації. Одноклітинні організми утворювали всі види, біоценози та біосферу в цілому. У процесі еволюції органічного світу клітина виявилася єдиною елементарною системою, в якій можливий вияв усіх закономірностей, що характеризують життя.



Мал. 69.
Гніздова колонія *мартина сріблястого*

Функціональна спеціалізація клітин зумовлює різноманітність їх форм. М’язові клітини — видовжені, покривні — багатокутні, лейкоцити — кулясті, нервові клітини, завдяки великій кількості відростків, набули зірчастої форми. (*Наведіть власні приклади. Проілюструйте залежність форми клітини від її функції.*)

Основні процеси, що відбуваються на клітинному рівні, будуть об’єктами вашого дослідження цього року — обмін речовин та енергії, самовідтворення, саморегуляція, самооновлення. Клітинний рівень вивчають цитологія, цитохімія, цитогенетика, мікробіологія.

Організмений рівень, структурною одиницею якого є окремі особини. Процеси, що відбуваються на цьому рівні, пов’язані з ростом, розвитком і розмноженням. (*Зверніть увагу, для одноклітинних організмів клітинний і організмений рівні збігаються.*) На організменому рівні спостерігається найбільша різноманітність форм життя, яка не є наслідком різноманітності дискретних одиниць нижчої ланки, а обумовлена їх ускладненими просторовими комбінаціями, які приводять до виникнення якісно нових особливостей.



Мал. 70.
Виводок *казарки канадської*, що гніздиться в тундрі

Поза особинами у природі життя не існує. На цьому рівні відбуваються процеси онтогенезу, тому він має й іншу назву — *онтогенетичний*.

Елементарним компонентом будь-якого організму є клітина. У багатоклітинному організмі клітини утворюють тканини та органи, пристосовані для виконання різних

функцій. Організмений рівень вивчають морфологія (анатомія, ембріологія), фізіологія, палеонтологія, генетика.

Популяційно-видовий рівень, елементами якого є **популяція** (від лат. *популюс* — народ) — сукупність особин одного виду, що живуть на спільній території (*мал. 68, 69, 70, 71*) та **вид** — сукупність особин, які вільно схрещуються і дають плодюче потомство (*мал. 72, 73*). Процеси, що відбуваються на ньому, пов'язані з розмноженням і первинними еволюційними перетвореннями організмів.

Популяційно-видовий рівень вивчається популяційною генетикою, біогеографією, систематикою, таксономією, екологією.

Нині на Землі налічується понад мільйон видів тварин та близько півмільйона видів рослин (*пригадайте кількість видів грибів та бактерій*). Кожен вид складається з окремих унікальних особин.

Приналежність особини до певного виду визначається за морфологічними, фізіологічними, екологічними та іншими критеріями. Найважливішою ознакою виду є генетична (репродуктивна) ізоляція, яка полягає у неможливості схрещування особин даного виду з представниками інших видів.

З часів К. Ліннея вид є основною одиницею систематики. Особливе значення виду серед інших систематичних груп (таксонів) зумовлюється тим, що у його угрупованні окремі особини існують реально. У складі виду в природних умовах особина народжується, досягає статевої зрілості і виконує свою головну біологічну функцію — репродукцію, забезпечуючи продовження роду. На відміну від виду, таксони надвидового рангу (рід, ряд, родина, клас тощо) не є «ареною» життя організму. Виділення їх у природних системах органічного світу відображає результати попередніх етапів історичного розвитку живої природи.

Вид — категорія історична, якісний етап еволюції. Кожний вид виник з іншого й існує, доки не зміняться умови. За нових умов він або загине, або, змінюючись, дасть початок іншим видам. Вид, як правило, охоплює багато популяцій. Ізоляція між ними майже ніколи не буває абсолютною. Між окремими популяціями відбувається обмін особинами завдяки міграціям. Ступінь ізольованості залежить від здатності особин до розселення, від наявності географічних перешкод у межах ареалу виду, характеру середовища існування. Так, наприклад, рослини, які ростуть під деревами, у лісостеповій зоні будуть представлені окремими ізольованими популяціями, а у лісовій цей вид матиме суцільне поширення і межі між популяціями буде важко окреслити.

Ізольованість популяції залежить і від чисельності виду. Так, швидке зростання чисельності гризунів приводить



Мал. 71.
Найбільша популяція *нарцису вузьколистого*. Карпатський біосферний заповідник



Мал. 72.
Сьогодні описано близько *10 000 видів папоротеподібних*



Мал. 73.
Жук колорадський найвідоміший вид комах-шкідників в Україні

до активного розселення, межі між окремими територіями популяцій можуть зникати.

Кожна популяція має певний віковий і статевий склад; чисельність особин в ареалі може коливатися від кількох сотень до кількох тисяч. Чим менша популяція, тим більша загроза її вимирання. (*Наведіть приклади популяцій окремих видів рослин і тварин. Який їх кількісний склад?*) За статевим складом популяція, як правило, характеризується однаковим співвідношенням самок і самців. (*Пригадайте винятки з цього правила, поясніть їх причини*).

Слід зазначити, що не тільки види рослин і тварин складаються з популяцій. У генетиці людини популяцією називають групу осіб, які займають певну територію і вільно одружуються. Межі, що розділяють людей від шлюбу, можуть бути не тільки географічні, але й соціальні, релігійні. Великі популяції людей, як правило, складаються не з однієї, а з кількох антропологічних груп, які відрізняються за походженням, і розселені на великій території. Для сучасних людських популяцій властиве зростання і руйнування шлюбних ізолятів, які існували раніше, наприклад географічних.

Біогеоценотичний (екосистемний) рівень, його елементарною одиницею є **екосистеми — біогеоценози** (від грец. *біо* — життя, *гео* — земля і *ценос* — загальний) — сталі угруповання популяцій бактерій, рослин, грибів, тварин, які пов'язані між собою ланцюгами живлення, а також середовищем їх існування. Біогеоценози утворюються в процесі історичного розвитку, для них характерна сталість. Цей рівень організації вивчає екологія, зокрема водні екосистеми — *гідробіологія* (від грец. *гідро* — вода і *біологія*). Головним об'єктом цих досліджень є потоки речовини та енергії.

Біосферний (від грец. *біос* — життя, *сфера* — шар) — найвищий рівень біологічної організації. Характерний для цього рівня процес — кругообіг речовин та енергії в біосфері, який забезпечує цілісність життя на Землі.

Біосфера — це сукупність усіх живих організмів разом із середовищем існування. Діяльність живих організмів поєднує всі оболонки Землі у єдину цілісну систему, де відбувається обмін речовин та енергії. Життя у біосфері підтримується за допомогою сонячної енергії, яку використовують зелені рослини у процесі фотосинтезу. Енергія світла перетворюється при цьому на хімічну.

За останніми даними, верхня межа біосфери обмежується озоновим шаром і сягає 22 км над рівнем моря. В океанах нижня межа життя досягає глибини 10–11 км. У тверду земну оболонку (літосферу), де межа життя обмежується високою температурою, організми проникають на глибину 4–7 км. (*Наведіть приклади живих організмів, які існують на межі біосфери.*)

Біосфера — екосистема найвищого рівня. Сукупність усього живого називають живою речовиною. Всі живі організми планети утворюють біомасу, кількість якої за підрахунками різних науковців дорівнює близько 2,4–3,6 · 1012 т (97 % рослини, 3 % тварини, 0,0002 % — маса людства), що становить 0,01 % маси земної кори, або 0, 0000001 % маси планети. Але, незважаючи на цей незначний кількісний показник, роль живих організмів у процесах, які відбуваються на планеті, величезна, їх діяльністю зумовлені хімічний склад атмосфери, концентрація солей у гідросфері, у літосфері — утворення і руйнування гірських порід, формування ґрунтів тощо. Цікаво, що біомаса Світового океану в 1000 разів менша, ніж суходолу, оскільки використання сонячної енергії у воді становить 0,04 %, а на суходолі — 0,1–0,3 %.

З характеристики рівнів видно, що кожний наступний включає елементи попереднього, тому має місце певна ієрархія рівнів — їх супідрядність. На всіх рівнях проявляються ознаки життя, причому життєві процеси більш високого рівня забезпечуються структурами нижчого.

Багаторівневість, що формується з підпорядкованих одна одній підсистем, підвищує надійність системи взагалі, оскільки будь-які помилки на нижчому рівні організації коригуються на більш високому рівні.

Разом з тим, багаторівневість організації об'єднує живе на планеті в єдине ціле, тому вплив на ключові ланки одного з рівнів може позначитися на всій системі. Наприклад, гіпотетичне потепління води у Світовому океані до критичної позначки понад +30 °C спричинить загибель водоростей-симбіонтів коралів. (*Пригадайте, до якого типу живих істот належать корали і що таке симбіонт.*) Це призведе до вимирання коралових рифів, глобального зменшення біологічної продуктивності у біосфері й різкого підвищення рівня вуглекислого газу в повітрі, а згодом до трагедії планетарного масштабу.

Живу природу вчені розглядають як ієрархічну систему структурних рівнів організації. На всіх рівнях — молекулярному, клітинному, організменому, популяційно-видовому, біогеоценотичному (екосистемному), біосферному — виявляються ознаки життя, причому життєві процеси вищого рівня забезпечуються структурами нижчого.

Біологічні системи характеризуються особливими властивостями, серед яких найважливішими є цілісність, відкритість та багаторівневість організації.

Перевірте себе

1. Що таке система?
2. У чому полягає суть багаторівневості організації живого?
3. Назвіть рівні організації живого. Схарактеризуйте їх.
4. Назвіть біологічні науки, які вивчають різні рівні організації живого.
5. З чим пов'язана різноманітність клітин за розмірами, формою, будовою?
6. Наведіть конкретні приклади вияву ознак життя на клітинному рівні.

Як ви вважаєте?

1. Як ще можна визначити суть поняття *система*?
2. Чому деякі науковці молекулярний рівень називають молекулярно-генетичним?
3. Як можна довести цілісність біологічних систем?
4. Чи є доречним поділ форм життя на рівні організації?

Семінар 3. Відмінність живого від неживого

Інформація до роздумів. Одне з найпростіших і водночас найбільш складних питань біології та інших природничих наук, а також філософії: що таке життя.

Парадоксальне явище: наші предки з легкістю могли відрізнити живе від неживого, сучасна ж система знань про світ така, що чим більше ми знаємо про природу речей, тим складніше дати відповіді на основне питання біології: чим живе відрізняється від неживого і що є життя?

Існує ряд властивостей живого, якими традиційно описують відмінності живої речовини від неживої. Однак кожну з них, як виявилося, можна застосувати і для опису неживого об'єкта (*табл. 1*).

Таблиця 1

Властивості живого	Їх прояв у неживій природі
Рух — переміщення у просторі.	Рухаються електрони навколо ядра кожного атома. Рухаються світло й звук, краплі дощу, маси води океану, потоки вулканічної лави, зірки й планети тощо.
Подразливість — здатність об'єкта реагувати на зміну навколишніх умов.	Перетворення краплі води в хмарину пари при підвищенні температури, руйнування гори під дією вітру — це реакція об'єкта на зміну умов навколишнього середовища.
Живлення — процес поглинання речовин, необхідних для функціонування об'єкта.	Робота, наприклад, електричної лампочки передбачає поглинання нею електрики.
Виділення — виведення назовні кінцевих та проміжних продуктів метаболізму.	Вихлопні гази — продукти розпаду, що виділяються при функціонуванні автомобіля.

Ріст — збільшення розмірів тіла.	Кристал солі росте, збільшуючись і «живлячись» насиченим сольовим розчином.
Розмноження — здатність до самовідтворення.	Здатність до розмноження і самовідтворення властива також, наприклад, комп'ютерним вірусам.
Народження й смерть.	Галактика, до якої належить наша планета Земля, називається Чумацький Шлях. Вона народилася 12 мільярдів років тому. Як і все, що існує у Всесвіті, коли-небудь ця галактика перестане існувати. А ізотоп Йоду-131 існує всього 8 діб — від народження до смерті. Будь-яка побутова техніка має час «народження» і час «смерті». Наприклад, холодильник після поломки перестає бути холодильником, а телевізор — телевізором.

Теми для рефератів, виступів і дискусій

1. У ході дискусії спробуйте дати відповідь на основні питання біології: «Що є життя?» і «У чому полягає відмінність живого від неживого?» І головне — намагайтеся науково обґрунтувати вашу точку зору.
2. Складіть таблицю властивостей живого та прикладів з неживого.
3. Науково обґрунтовано доведіть або спростуйте такі твердження: а) комп'ютер — жива істота; б) робоча мураха — неживий механізм.

Джерела інформації

http://mylearn.ru/kurs/7/317
http://ru.wikipedia.org/wiki/Живое_вещество
http://ru.wikipedia.org/wiki/Жизнь
http://mylearn.ru/kurs/7/317
http://www.5ballov.ru/referats/preview/83784
http://httpsu.ru/courses/3-referat.html

Семінар 4. Що таке життя з точки зору фізики

Інформація до роздумів. Як вже зазначалося, життя організмів, так само як і неживих тіл, чітко підкорюється законам фізики. А тому здається, що на рівні фізичних законів відрізнити живі істоти від неживих тіл неможливо. Разом з тим, як вважають фізики, головна відмінність живого від неживого лежить у площині термодинаміки, оскільки, відповідно до законів фізики, в будь-якій системі рано чи пізно настає термодинамічна рівновага. Це означає, що будь-яка фізична система прагне до максимального рівня своєї **ентропії** (від грец. *ентропія* — перетворення) — хаотичності й невпорядкованості, який і вважається станом абсолютної фізичної рівноваги. Життя постійно бореться з хаосом, саморуйнуванням і самоорозпадом. Це проявляється в тому, що за рахунок вільної енергії із простих речовин постійно відбувається синтез складних речовин, завдяки чому організми не просто підтримують своє існування, а утворюють собі подібних (розмножуються). Саме тому, на противагу поняттю ентропії, яка є мірою хаотичності будь-якого процесу, було запропоноване поняття **негентропії** (від англ. *негатив* — негативний і *ентропія*) як руху до впорядкування та самоорганізації системи.

У зв'язку з цим цікаво проаналізувати визначення поняття «життя», які сформулювали вчені, що працювали на стику біології й фізики.

Так, видатний австрійський вчений Е. Шредингер (1887–1961) зазначав: *«Життя — це впорядкована й закономірна поведінка матерії, заснована не лише на тенденції переходити від упорядкованості до невпорядкованості, але й частково на існуванні впорядкованості, яка підтримується увесь час», «Жива матерія уникає переходу до рівноваги».*

Німецький науковець Е. Ліббертстверджував: *«...живими називаються ті системи, що здатні самостійно підтримувати й збільшувати свій високий ступінь упорядкованості в середовищі з меншим ступенем упорядкованості. Такі процеси є процесами з негативною ентропією (негентропійними процесами)».*

Російський вчений В.О. Енгельгардт (1894–1984) у своїх роботах доводив, що *«саме у здатності живого створювати порядок з хаотичного теплового руху молекул полягає найглибша, корінна відмінність живого від неживого. Тенденція до впорядкування, до створення порядку з хаосу є не що інше, як протидія зростанню ентропії».*

Дискусійні питання

1. Чи є істинним твердження, що обмін речовин, як такий, відбувається й у неживій природі, однак цей обмін призводить тільки до розпаду?
2. Які визначення життя та живого більш вдалі: ті, що базуються на законах фізики, або ті, що беруть за основу виключно біологічні особливості живого?

Теми доповідей

1. Наукова праця Е. Шредингера «Що таке життя з погляду фізики» та її роль у формуванні молекулярної біології.
2. Внесок таких учених, як Е. Шредингер, Е. Ліббертт, Н.В. Енгельгардт у вивчення живого з погляду законів фізики.

Семінар 5. Біоплівки. Соціальна поведінка бактерій

Інформація до роздумів. Жоден організм не може жити усоблено. Це стосуються навіть найпримітивніших істот. За останніми досягненнями мікробіології, уявлення про бактерій як про одноклітинні поодинокі організми суттєво змінилися. На зламі XX і XXI ст. було встановлено, що найбільш природною формою існування мікроорганізмів є біоплівка — своєрідне колоніальне утворення. Усередині біоплівки мікроорганізми проявляють різні форми соціальної поведінки: здатність до спілкування, формування багатоклітинного колективу, структура якого нагадує співтовариства вищих тварин. Деякі властивості біоплівок навіть дозволяють порівнювати взаємини мікроорганізмів усередині неї з людським соціумом. Вивчення біоплівок привело до досліджень на стику мікробіології й етології, у тому числі соціальної етології й етології людини. У 1972 р. було навіть запропоновано термін «етологія бактерій».

Зараз встановлено, що у стані біоплівки перебуває 90 % мікроорганізмів і тільки 10 % припадає на вільне істинно одноклітинне існування. Біоплівки утворюються виключно у природі. В умовах культивування в штучному середовищі бактерії залишаються поодиникими істотами, навіть якщо вони ростуть у вигляді бляшок і плівок.

Така форма існування, як біоплівки, має всі переваги колективного існування. Найцікавіше явище в біоплівках — колективна поведінка й соціальні зв'язки мікроорганізмів, а також біохімічна «мова спілкування» учасників такого співтовариства: мікробіологи інколи порівнюють різноманітність низькомолекулярних хімічних сполук, за допомогою яких спілкуються мікроорганізми, зі

словниковим запасом людини. Ще один яскравий порівняльний образ, який використовують мікробіологи, що вивчають біоплівки, — «мікробні міста», покликані створювати різного роду «зручності» для їх мешканців.

Біоплівки виникають тільки на межі розділу фаз: рідини й повітря, рідини й твердих тіл, твердих тіл й повітря, а також на межі двох різних рідин. Біоплівка виглядає наступним чином: безліч мікроорганізмів, сполучених густою речовиною, — матриксом, що складається з біополімерів. Матрикс продукують самі ж мікроорганізми — учасники співтовариства. Він формується в результаті злиття зовнішніх шарів індивідуальних клітинних оболонок. До складу матрикса можуть входити різні полісахариди, глікопротеїди, ліпосахариди, білки. У складі біоплівок бактерії об'єднані складними міжклітинними зв'язками, тому таке співтовариство мікроорганізмів цілком можна розглядати як аналог багатоклітинного організму.

Будова біоплівки може бути дуже різноманітною: у формі бляшки або тонкої плівки, що покриває всю поверхню об'єкта, існують плівки з виростами й зубцями, які нагадують шпилі й вежі середньовічного міста. Трапляються біоплівки завтовшки до 30 сантиметрів (наприклад, відомий багатьом «чайний гриб» — біоплівковий симбіоз ацетатних бактерій і дріжджів багатьох видів). Одна з найвідоміших біоплівок — зубний наліт.

Утворення біоплівки контролюється спеціальними генами, які змінюють свою активність, реагуючи на об'єднання мікроорганізмів. Мешканці «мікробного міста» набагато краще захищені від несприятливих умов, ніж поодинокі бактерії. Особливо ефективний захист бактерій усередині біоплівки від дії антибіотиків, які не можуть до них «дістатися» крізь матрикс.

Мікроорганізми поєднуються в співтовариства, де ряд функцій вони виконують разом і де існує чіткий розподіл обов'язків. Така поведінка бактерій схожа на соціальну поведінку комах — бджіл, мурах.

Виявляється, усі хронічні інфекційні захворювання пов'язані з формуванням біоплівок. Коли вони досягають певного розміру, від біоплівок починають відриватися частки, які з током крові або шлунково-кишковим трактом розносяться в організмі. У результаті відбувається утворення нових осередків запалення.

Багато мікроорганізмів стають вірулентними тільки у вигляді біоплівок, наприклад, зростання випадків «хвороби легіонерів» — легіонельоз. У випадку, якщо в організм людини потрапляють поодинокі бактерії, імунітет без особливих труднощів справляється з ними. Однак ці бактерії утворюють біоплівки, наприклад, усередині кондиціонерів — на межі твердої поверхні й повітряного середовища. У випадку, якщо відірваний шматок цієї біоплівки потрапить в організм людини, імунна система виявляється не здатною протистояти такому інфекційному удару.

Саме біоплівки викликають «лікарняні» інфекції, багато післяопераційних ускладнень й інфікування штучних імплантатів. Наприклад, бактерії синьогнійної палички здатні утворювати стійкі біоплівки у швах між кахелем, де стають не вразливими до дії більшості дезінфікуючих засобів. Оскільки біоплівки патогенних мікроорганізмів утворюються на межі різних середовищ, тому ймовірне виникнення таких колоній на поверхні штучних імплантатів: на кардіостимуляторах, штучних суглобах, стінках судин, протезах, катетерах тощо. Біоплівки часто утворюються на поверхні контактних лінз — із цим пов'язана необхідність ретельної стерилізації останніх. Бактеріальні біоплівки також оселяються на поверхні хірургічних інструментів, де успішно протистоять стерилізації, тому найкращим засобом боротьби із цим явищем є використання одноразових інструментів. Але вони не тільки завдають шкоду. Наприклад, біоплівка нормальної мікрофлори шлунково-кишкового тракту захищає наші слизові від агентів, що можуть їх ушкодити.

Біоплівки не обов'язково утворюються з однакових мікроорганізмів. Існують співтовариства, до складу яких належать не тільки різні види бактерій, а й бактерії з різними властивостями (грампозитивні і грамнегативні), а також гриби й найпростіші.

Теми для рефератів, виступів і дискусій

1. Чи можуть існувати поодинокі соціально неорганізовані види організмів?
2. Чому біоплівки утворюються тільки в природному середовищі, а не в штучній культурі, наприклад на чашках Петрі?
3. Чому біоплівки, утворені бактеріями, такі небезпечні для здоров'я людини?

Джерела інформації

http://medgazeta.rusmedserv.com/2006/62/article_1678.html
http://www.medicusamicus.com/index.phttpction=5x755-2-3ag-4a-5a-13ef-14bnx1
http://www.cbio.ru/modules/sections/index.php?op=viewarticle&artid=2144
http://elementy.ru/genbio/synopsis?artid=237
http://thttphtsprings.com/biofilmbook/contents/chapters/chapter001/section001/blue/page001.html (англ., відео)



Практична робота № 3

Вивчення біосистем різного рівня організації

Мета: розвивати вміння характеризувати біологічні об'єкти як ієрархічні системи

Обладнання, матеріали та об'єкти дослідження: таблиці, фотографії, схеми, CD із зображенням біосистем різних рівнів організації живої природи

ІНФОРМАЦІЯ

Біологічні системи — це живі об'єкти різної складності, які являють собою ієрархічну сукупність взаємопов'язаних елементів, що перебувають на різних рівнях структурно-функціональної організації та здійснюють взаємний вплив. Прикладами біосистем є клітини, тканини, органи, організми, види, угруповання організмів (популяції), екосистеми, біосфера.

ХІД РОБОТИ

1. Розгляньте біологічні системи на таблицях, фотографіях, схемах, CD.
2. Класифікуйте розглянуті біосистеми за рівнями організації живого.
3. Схарактеризуйте розглянуті біосистеми за планом.

План характеристики біосистеми:

а) назва біосистеми, рівень структурної організації живої природи, до якого належить біосистема;
б) методи дослідження біосистеми;
в) склад біосистеми (основні елементи);
г) наявність зв'язків між елементами біосистеми і середовищем;
д) взаємозв'язки між елементами системи в просторі та часі, направлені на здійснення функцій системи.

4. Створіть таблицю відомостей досліджуваних біосистем.
5. Зробіть **висновок** про біосистеми як живі об'єкти з певною ієрархічною структурою та можливості їх вивчення за допомогою різних методів біологічних досліджень.

Практична робота № 4

Моделювання окремих ознак біосистем (ріст, рух, відтворення)

Мета: відтворити окремі ознаки біосистем з використанням аналогових моделей із неживої природи

ІНФОРМАЦІЯ

Моделювання біологічних явищ включає відтворення в штучних системах процесів, властивих живій природі. З цією метою використовують різні *моделі*, зокрема фізико-хімічні. Такі моделі на основі фізичних явищ (механічних, теплових тощо) і хімічних реакцій імітують біологічні структури і процеси, наприклад електричні явища при передачі нервового імпульсу, рухові реакції. При створенні фізико-хімічних моделей використовують різноманітні речовини, матеріали, прилади, пристрої.

Прикладом ознак біосистем є ріст, рух, відтворення.

Проявом *росту* організмів є збільшення їхніх лінійних розмірів, об'єму і маси. *Рух організмів* — поведінкова реакція, що полягає у просторовому переміщенні організмів або їх частин. *Відтворення* — здатність утворювати собі подібних.

ХІД РОБОТИ

Моделювання руху

Обладнання, матеріали, реактиви: велика голка, вазелін, чиста вода, широка посудина, драбинка, зроблена з жерсті чи іншого матеріалу, скляний циліндр, вуглекислий газ із апарата Кіппа, 4–5 свічок

1. Змастіть вазеліном велику голку й обережно покладіть її на поверхню води в посудину. Спостерігайте за рухом голки. Змочіть шматочок мила у воді з краю посудини. Коли мильна плівка досягне голки, остання потоне.
2. Помістіть у циліндр (або склянку) маленьку драбинку, зроблену з жерсті чи іншого матеріалу. На кожній сходинці драбинки закріпіть свічку. Запаліть свічки і заповнюйте циліндр вуглекислим газом з апарата Кіппа (газовідвідну трубку занурте на дно циліндра). Свічки погаснуть одна за одною, починаючи з нижньої.
3. Зазначте, які явища (фізичні, хімічні) відбувалися в проведеному експерименті та поясніть їх.

Моделювання росту

Обладнання, матеріали, реактиви: металічний цинк у вигляді пластинки чи смужки розміром 10х150 мм, високий хімічний стакан або циліндр ємкістю 1 л, скляна паличка, капронова нитка, дрібнозернистий наждачний папір, фільтрувальний папір, водний розчин плюмбум(ІІ) ацетату (приготувати розчиненням 25–30 г плюмбум(ІІ) ацетату в 100 мл води), розчин оцтової кислоти (ω = 9 %)

1. У циліндр на 3/4 його об'єму налийте розчин плюмбум(ІІ) ацетату, додайте кілька крапель розчину оцтової кислоти (для зменшення гідролізу солі). Зачистіть цинкову смужку (стрижень) наждачним папером, протріть її фільтрувальним папером і занурте у розчин плюмбум(ІІ) ацетату.
2. Спостерігайте, як цинкова пластинка (стрижень) поступово вкриватиметься блискучими темно-синіми кристалами свинцю і відбуватиметься збільшення їх розмірів.
3. Зазначте, які фізичні та хімічні явища відбувалися в проведеному експерименті та поясніть їх.

Моделювання відтворення

Обладнання, матеріали, реактиви: кілька шматочків пластиліну чи іншого пластичного матеріалу

1. Змоделюйте види нестатевого розмноження. Для цього візьміть чотири шматочки пластиліну, розігрійте в долонях і сформуйте зірку, дві кульки та глечик. З цих вихідних форм, вдаючись до прийомів витягування та відщеплення, виконайте моделювання.
2. Зазначте, в чому подібність і відмінність між вихідними формами та кінцевим результатом у здійсненому моделюванні відтворення.

Запишіть загальний висновок, в якому:

- висловте власне судження щодо використання для моделювання ознак біосистем тіл неживої природи як аналогових моделей і поясніть, у чому полягає обмеженість їх застосування;
- порівняйте джерела енергії для здійснення руху, росту і відтворення у проведеній роботі з джерелами енергії для цих процесів у біосистемах.

Практична робота № 5

Складання схем структурної організації біосистем різного рівня

Мета: застосувати знання про біосистеми різних рівнів організації живої природи для складання схем їх структурної організації

ІНФОРМАЦІЯ

Біосистеми є складними, багатокомпонентними, просторово структурованими утвореннями.

При складанні схем структурної організації біосистеми слід дотримуватись таких правил.

1. У разі використання для елементів біосистеми умовних позначень, слід навести їх інтерпретацію.
2. При розташуванні на схемі елементів системи враховувати їх рівень в ієрархічній структурі біосистеми (позначати певним чином елементи одного рівня та супідрядні).
3. Елементи біосистеми слід з'єднувати стрілками, що вказують на взаємозв'язки між ними.

ХІД РОБОТИ

1. Складіть схему еукаріотичної клітини як біосистеми, користуючись власними умовними позначеннями її елементів та стрілками, що ілюструють зв'язки між ними і з навколишнім середовищем (у підписах розшифруйте позначення).
2. Складіть схему рослинного організму як біосистеми, користуючись власними умовними позначеннями її елементів та стрілками, що ілюструють зв'язки між ними і з навколишнім середовищем (у підписах розшифруйте позначення).
3. Складіть схему екосистеми як біосистеми, користуючись власними умовними позначеннями її елементів та стрілками, що ілюструють зв'язки між ними і з навколишнім середовищем (у підписах розшифруйте позначення).

Зробіть **висновок**, що спільного та чим відрізняється структура розглянутих біосистем.



ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ІЗ РОЗДІЛУ І

1. Укажіть основоположника ботаніки

А Теофраст **Б** Арістотель **В** А. Левенгук **Г** Везалій

2. Позначте період становлення біології як самостійної науки

А античні часи **Б** епоха Середньовіччя **В** епоха Відродження **Г** початок XX ст.

3. Укажіть внесок Арістотеля в розвиток біологічної науки

А спростував ідею можливості самозародження організмів **Б** визначив відмінності живлення рослин від живлення тварин **В** класифікував рослини і тварин на основі морфологічних ознак **Г** зробив перший науковий опис будови і способу життя тварин.

4. Виберіть історичний період, за якого відбувся занепад біології як науки

А епоха Середньовіччя **Б** епоха Відродження **В** античні часи **Г** XVII–XVIII ст.

5. Укажіть вчення, згідно з яким усі живі організми створено надприродною силою

А холізм **Б** дарвінізм **В** креаціонізм **Г** ламаркізм

6. Позначте найбільший таксон в системі К. Ліннея

А вид **Б** рід **В** клас **Г** тип

7. Позначте рівні організації живої природи, що за певних обставин можуть збігатися

А молекулярний і клітинний **Б** клітинний і організмений **В** організмений і популяційно-видовий **Г** популяційно-видовий і біосферний

8. Визначте правильну послідовність розвитку наукових знань у біології, що отримуються шляхом індукції

А факт — гіпотеза — експеримент — умовивід — теорія (закон) **Б** факт — умовивід — гіпотеза — експеримент — теорія (закон) **В** гіпотеза — експеримент — факт — умовивід — теорія (закон) **Г** гіпотеза — факт — експеримент — умовивід — теорія (закон)

9. Позначте біологічну дисципліну, що вивчає життя на клітинному рівні

А екологія **Б** палеонтологія **В** цитологія **Г** іхтіологія

10. Укажіть найвищий рівень організації живої природи

А біосферний **Б** організмений **В** екосистемний **Г** клітинний

11. Позначте метод біологічних досліджень, який використовують з метою зміни умов існування організмів

А порівняльно-описовий **Б** моделювання **В** експериментальний **Г** моніторинг

12. Позначте найменшу біосистему, здатну до саморегуляції

А орган Б біогеоценоз В клітина Г організм

13. Укажіть біосистеми одного рівня організації живої природи А серце, еритроцит Б гусінь, квітка В нейрон, лейкоцит Г ставок, ставковик.

14. Укажіть пару біосистем, що належать до надорганізмених рівнів організації живої природи

А організм, екосистема Б клітина, біосфера В тканина, вид Г популяція, біогеоценоз

15. Виберіть властивість біосистем за означенням: *здатність утворювати нові хімічні сполуки і структури на зміну тим, термін існування яких вичерпаний*

А спадковість Б мінливість В самооновлення Г ріст

16. Виберіть рівень організації живої природи, структурним елементом якого є особина

А біосферний Б організмений В клітинний Г молекулярний

17. Позначте рівень організації живої природи, який вивчає цитологія

А тканинний Б молекулярний В екосистемний Г клітинний

18. Укажіть спільні властивості всіх живих організмів

А здійснення фотосинтезу Б обмін речовин В подразливість Г існування у водному середовищі Д клітинна будова Е розмноження Ж здатність жити абсолютно ізольовано від інших організмів

19. Позначте правильні твердження

А біосистеми відрізняються від тіл неживої природи елементним складом Б до складу біосистем входять лише органічні сполуки В біосистеми є відкритими системами Г рух властивий і біосистемам, і тілам неживої природи

20. Виберіть ознаки, спільні для біосистем всіх рівнів організації живої природи

А однакові складові елементи Б безпосередній зв'язок елементів біосистеми із середовищем існування В взаємозв'язки між елементами біосистеми Г стійкість і відкритість біосистеми

21. Установіть відповідність між рівнями організації живої природи та їх ознаками

А молекулярний	1 розмноження й передача спадкової інформації потомству
Б організмений	2 біологічний колообіг речовин
В біосферний	3 функціонування організму як єдиного цілого
	4 хімічні реакції перетворення речовин і енергії

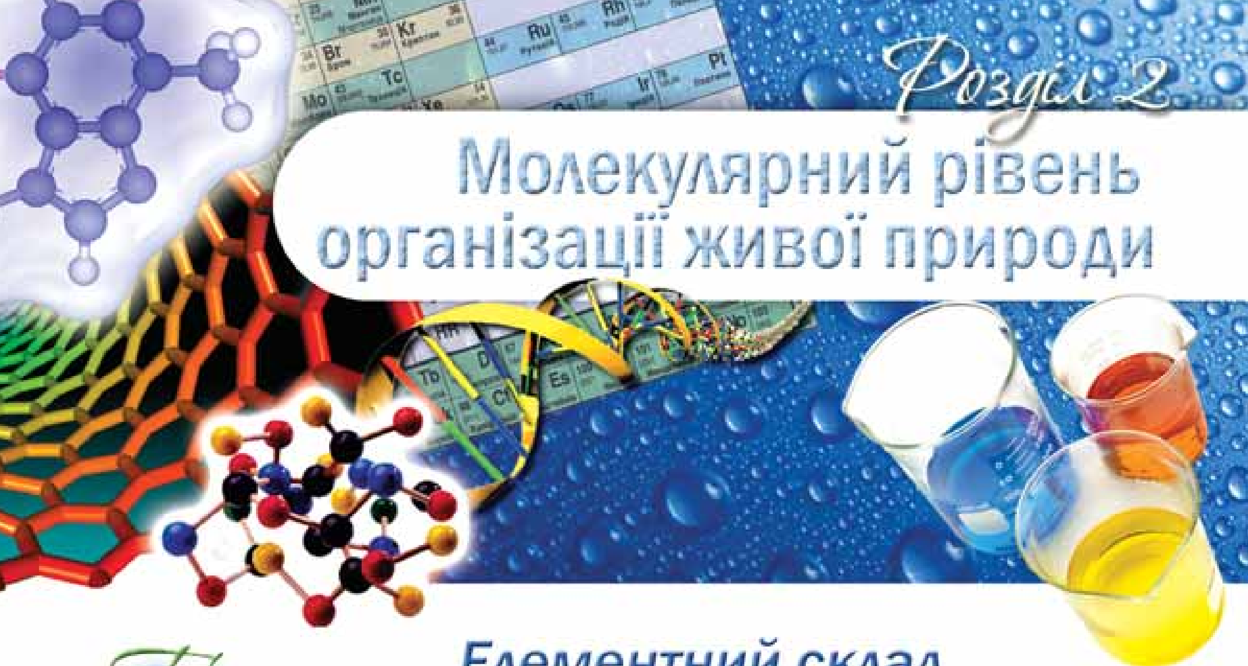
22. Установіть відповідність між властивостями біосистем та прикладами прояву даних властивостей

А саморегуляція	1 обтічне тіло риб
Б здатність до адаптації	2 утворення рослини з насінини
В розвиток	3 стала температура тіла ссавців

Колоквіум № 1. Загальна характеристика живої природи

Контрольні питання

1. Глобальні екологічні проблеми, що постають перед людством.
2. Біологія і сучасна медицина.
3. Дефіцит їжі на планеті і шляхи вирішення цієї проблеми.
4. Живі істоти — найчарівніші створіння.
5. Філософи античності про життя та його виникнення.
6. Внесок Арістотеля та його учнів у становлення біології.
7. Розвиток анатомії і фізіології в період Середньовіччя.
8. Науково-технічний прогрес наприкінці Середньовіччя і біологічні відкриття.
9. Головні наукові відкриття і досягнення біології у XVIII і на початку XIX ст., які привели до формування біології як науки.
10. Значення еволюційної теорії у формуванні сучасної біології.
11. Генетика — наука XX–XXI ст.
12. Формування основних понять екології.
13. Сучасна біологія як система наук.
14. Що таке біоетика?
15. Які методи використовує біологія?
16. Найцікавіші експерименти в біології.
17. Метод моделювання у біології.
18. Індукція і дедукція в науковому пошуку.
19. Головні властивості живого.
20. Наскільки правильним є твердження, що всі живі істоти підкорюються законам фізики і хімії?
21. У яких науках найчастіше використовуються редукційні підходи, а в яких до біологічних об'єктів ставляться як до цілісних систем?
22. Яке з відомих вам визначень життя є найбільш науково обґрунтованим?
23. Що таке система, а що таке — елемент?
24. Які є рівні організації живої матерії?
25. Які переваги живим системам надає їхня багаторівневість?



Розділ 2
Молекулярний рівень організації живої природи

Тема 3. Елементний склад біологічних систем

§9. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЖИВОГО

Терміни та поняття: біологічна хімія (біохімія), молекулярна біологія, генна інженерія, генетично модифіковані організми, ятрохімія, поліпептидна теорія будови білків.

Біохімія як наука. **Біологічна хімія**, або **біохімія** — наука про хімічний склад живих організмів і хімічні процеси, що забезпечують їх життєдіяльність. У сучасній біології це одна з найрозвинутіших наук, яка нараховує близько сотні дисциплін: загальну біохімію, що вивчає закономірності молекулярної будови й протікання хімічних реакцій у живому; біохімію тварин, рослин, мікробів і вірусів, завданнями яких є виявлення особливостей хімічного складу й реакцій, що відбуваються у клітинах, тканинах і тілах саме цих груп живих організмів; медичну біохімію, яка займається питаннями біохімії людини, розробкою діагностики захворювань, контролем за перебігом хвороби та інші. Актуальними в останні десятиліття стали дослідження з радіаційної біохімії, що вивчає вплив іонізуючого випромінювання на структуру і властивості сполук живих систем.

Прогрес у біохімічних дослідженнях тісно пов'язаний з досягненнями у суміжних науках: неорганічній, органічній, фізичній хіміях, фізіології, біофізиці, клітинній біології, генетиці, еволюційній біології. На стиках цих

наук з біохімією отримують дуже цікаві результати, саме тут формуються сучасні наукові напрями, серед яких і **молекулярна біологія** — наука про будову, функції й перетворення біологічних макромолекул, зокрема білків і нуклеїнових кислот. Ця наука використовує підходи й методи біохімії, а вирішує, головним чином, генетичні завдання — з'ясування механізмів реалізації спадкової інформації. Роль молекулярної біології у пізнанні життя важко переоцінити, адже специфічність біологічній матерії надають саме нуклеїнові кислоти і білки, а тому, вивчаючи особливості будови й функціонування біологічних макромолекул, можна впритул наблизитись до розкриття таємниць життя. Саме з молекулярної біології бере початок один із найбільш перспективних біотехнологічних напрямів — **генна інженерія**, що ставить перед собою завдання створення **генетично модифікованих організмів**, у клітинах яких продукуються речовини, не властиві даному виду організмів, але які надають йому характеристики, корисні для людини.

Останнім часом поширюється інформація про генетично модифіковану картоплю, отруйну для колорадського жука і, як вважають багато вчених, зовсім безпечну не тільки для інших комах, але навіть для людини. Вдалося таке «диво» отримати, «вмонтувавши» у генетичний апарат картоплі ген бактерії, який виробляє особливий білок, згубний лише для колорадського жука.



Мал. 74.
Авіценна

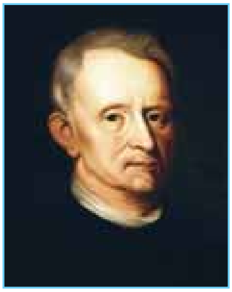
Історія й формування біохімії як сучасної науки. Певні знання про біохімічні процеси люди мали ще в прадавні часи. Оскільки вже тоді були створені технологічні процеси, пов'язані з використанням хімічних перетворень: хлібопечення, сироваріння, виноробство й інші. Використання рослин у їжу, для виготовлення фарб і тканин, а особливо лікування хвороб спонукали природодослідників до вивчення властивостей речовин. Невипадково перші речовини, описані середньовічним перським філософом і лікарем ***Авіценною*** (*мал. 74*) (980–1037), належали до ліків.



Мал. 75.
Парацельс

Наприкінці Середніх віків (XVI–XVIII ст.) сформувався такий напрямок наукових досліджень, як **ятрохімія** (від грец. *ятрос* — лікар і *хімія*), представники якого прагнули поставити хімію на службу медицині. Ятрохіміки розглядали процеси, що відбуваються в організмі, як хімічні явища, а хвороби вважали результатом порушення хімічної рівноваги, яке слід усувати за допомогою специфічних речовин. Основоположником ятрохімії вважають відомого німецького алхіміка ***Ф. Парацельса*** (*мал. 75*) (1493–1541). Саме в нього виникла думка про те, що хвороби — це порушення хімічного складу організму. Ятрохіміки розрізняли кислотні й лужні захворювання, як лікувальні препарати використовуючи сурму, ртуть, залізо тощо.

Ф. Парацельс вважав, що організм складається із ртуті, сірки й кухонної солі, тому виразка й лихоманка виникають від надлишку сірки; пронос — від надлишку солі, а параліч — від надлишку ртуті.



Мал. 76.
Я.Б. ван Гельмонт

Інший представник цього напрямку ***Я.Б. ван Гельмонт*** (*мал. 76*) (1579–1644) зробив на той час дуже несподіване відкриття: навіть у сухій речовині рослини обов'язково присутня вода. Саме він описав процеси травлення й утворення сечі, сформулював думку про те, що хвороба — це, насамперед, порушення хімічної рівноваги між організмом і зовнішнім середовищем.

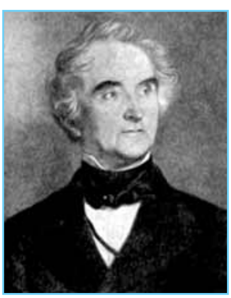
Нині погляди ятрохіміків дивують своєю наївністю навіть людей дуже далеких від біології, але омани середньовічних учених мають історичну цінність. Звичайно, людство, розвиваючись, все більше покладається на перевірений науковий досвід, але як знати, можливо через тисячу років наші нащадки теж будуть дивуватися поглядам і дослідженням сучасних учених.



Мал. 77.
Ф. Вьолер

Переломною в дослідженні хімічних основ життя, безсумнівно, виявилася середина XVIII ст., коли серед учених сформувалася думка про дихання як повільне горіння. Особливе значення для розвитку науки мали дослідження життя й живлення рослин, результати яких засвідчили, що три речовини — CO_2, NH_3 і O_2 — забезпечують життєдіяльність рослинного організму.

Початок XIX ст. відзначенувався відкриттям органічних сполук, які були виділені з природної сировини. У такий спосіб було отримано гліцерин, молочну, лимонну, яблучну й щавлеву кислоти, із цукрового буряка — сахарозу, з жовчі — холестерин, а із фруктових соків — глюкозу й фруктозу. У результаті було описано близько 80 сполук, які зустрічалися в живих організмах, за що й отримали красномовну назву — ***органічні речовини***. У той час вважалося, що органічні сполуки можуть утворюватися тільки в живому, а із простих неорганічних сполук, а тим більше із хімічних елементів їх отримати неможливо. Це давало підстави вважати, що жива речовина утворюється під впливом певної «життєвої сили» і побудована зовсім інакше, ніж нежива. Уперше синтезувати органічну сполуку з неорганічних речовин вдалося у 1828 р., коли ***Ф. Вьолер*** (*мал. 77*) (1800–1882) із амоній ціаніду синтезував сечовину. Згодом вченому шляхом синтезу вдалось отримати величезну кількість сполук, раніше виявлених лише в живих істотах.



Мал. 78.
Ю. Лібіх

До середини XIX ст. нагромадилася велика кількість відомостей про будову й різноманітність органічних речовин. У цей час ***Ю. Лібіхом*** (*мал. 78*) (1803–1873) створюється теорія мінерального живлення рослин. Саме він першим характеризує основні речовини тканин живих організмів — білки, вуглеводи, ліпіди. І. Берцеліус

(1779–1848) обґрунтовує основи вчення про каталіз, дає характеристику відомим на той час ферментам і пояснює природу бродіння. Розвиваються й удосконалюються методи хімічного аналізу, які тепер дозволяють не тільки вивчати окремі речовини у складі клітини, але й зрозуміти правила перетворення, кругообігу речовин у природі й організмі. Створюються перші підручники з біохімії. Відтоді біохімія — це самостійна біологічна наука, а не розділ хімії.

Основні досягнення біохімії кінця XIX і XX ст. пов'язані з дослідженнями структури, функції й перетворень біологічних макромолекул — білків і нуклеїнових кислот. У 1868 р. швейцарський біохімік Ф. Мішер (1844–1895) відкриває нуклеїнові кислоти. Російський вчений О.Я. Данилевський (1838–1928) вивчає склад, будову і властивості багатьох білків, на основі чого розробляє основні положення поліпептидної теорії будови молекули білка, здійснює синтез поліпептиду. Значний внесок у розвиток біохімії зробив німецький вчений ***Е. Фішер*** (*мал. 79*) (1852–1919). На основі численних дослідів він встановив, що білки складаються з амінокислот, сполучених пептидним зв'язком. Згодом це стало одним із положень сформульованої Фішером поліпептидної теорії білків.



Мал. 79.
Е. Фішер

Ці та багато інших вчених, перш за все лауреати Нобелівської премії Л. Полінг, Дж. Вотсон, Ф. Крік, Ф. Сенгер, а також наукові колективи, в яких вони працювали, внесли істотний вклад у вивчення структури нуклеїнових кислот і білків, відкриття їх просторової будови. Завдяки результатам досліджень цих вчених у середині XX ст. виникає молекулярна біологія, основними напрямами розвитку якої є *молекулярна генетика*, *протеоміка* — наука, що вивчає будову і функції білків, генна інженерія, геноміка, біоінформатика та інші напрями.



Мал. 80.
Інститут біохімії НАН України ім. О.В. Палладіна

Біохімічні дослідження в Україні. Найбільшим науковим центром біохімічних досліджень в Україні є **Інститут біохімії Національної академії наук України ім. О.В. Палладіна** (*мал. 80*). Інститут біохімії — одна із найстаріших науково-дослідних установ України. Інститут засновано у 1925 р., а першим директором став академік О.В. Палладін (1885–1972). Основними напрямами діяльності Інституту є дослідження структури, властивостей і функцій складних білкових систем, вивчення молекулярної організації метаболічних процесів, розробка нових біотехнологій.



Мал. 81.
Інститут молекулярної біології і генетики НАН України

Флагманом досліджень в області молекулярної біології на сьогодні є **Інститут молекулярної біології і генетики Національної академії наук України** (*мал. 81*), першим директором якого став академік С.М. Гершензон. Зараз в інституті проводяться дослідження з усіх головних напрямів **молекулярної біології**.

Дослідження хімічних основ життя проводяться в кожному науково-дослідному інституті біологічного профілю Національної академії наук. В усіх національних університетах України обов'язково є кафедри біохімії. Найбільш відомою є кафедра біохімії Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, яка була заснована в 1934 р. Тут працювали і викладали видатні вчені-біохіміки України В.О. Беліцер, Р.В. Чаговець, Д.Л. Фердман, Є.Ф. Сопін, М.Є. Кучеренко.

Біохімія — наука про будову й перетворення речовин живого організму — почала формуватися ще в епоху Середньовіччя, а як самостійна біологічна наука сформувалася в середині XIX ст. Зараз це одна із найпотужніших біологічних наук, що включає близько сотні дисциплін. Результатом її розвитку стала молекулярна біологія, яка вивчає структуру, функції й перетворення білків і нуклеїнових кислот.

Перевірте себе

1. У чому полягає позитивний внесок ятрохімії в розвиток і становлення біохімії?
2. Окресліть основні етапи розвитку біохімії та дайте кожному з них характеристику.
3. Які напрями біохімічних і молекулярних досліджень розвинені в сучасній Україні?

Як ви вважаєте?

1. Яка причина того, що біохімія стала однієї з найрозвиненіших біологічних наук?
2. Чому молекулярну біологію називають «обличчям біології XX сторіччя»?
3. Які нові напрями біохімії можуть виникнути у майбутньому і чим буде викликана їх поява?

§10. ЯК ВИВЧАЮТЬ ЖИТТЯ НА МОЛЕКУЛЯРНОМУ РІВНІ

Терміни та поняття: проба, об'ємно-ваговий аналіз, титрування, оптичні методи (спектральний і люмінесцентний аналізи, хроматографія), електрофорез, ультрацентрифугування, радіоактивне мічення, ізотопи, математичний аналіз, моделювання.

Матеріал для біохімічних досліджень. Зазвичай біохімічні дослідження проводять на спеціально дібраному матеріалі, який отримують від тварин, рослин, бактерій і вірусів. Це можуть бути цілі організми, продукти

їх життєдіяльності (гумус, молоко, сеча), органи, тканини, окремі клітини, частини клітин. Матеріал, отриманий для біохімічних досліджень, називають **пробами**. Проби беруть якнайшвидше за спеціально розробленими методиками і відразу ж фіксують за допомогою спеціальних речовин. Потім до аналізу зберігають у холодильних камерах за температури від 0 до –4 °С. У випадку, якщо досліджувана речовина не підлягає консервації (як-от білки), а необхідне тривале зберігання, то проби в пробірках закладають у спеціальні морозильні установки або занурюють у рідкий азот, де їх тримають за температури від –30 °С і нижче. Усі ці застережні засоби необхідні, щоб забезпечити максимальне збереження того хімічного складу, який був за життя.

Одним з надійних фіксаторів є етиловий спирт. (*З курсу хімії пригадайте його формулу, властивості.*) Саме спирт використовують для тривалого зберігання проб і подальшого дослідження структури ДНК.

Виділення необхідних речовин. Найважливішою біохімічною процедурою є виділення потрібної для аналізу речовини. Цей процес дуже кропіткий, оскільки в будь-якій клітині, тканині або органі одночасно містяться сотні й тисячі різних сполук. Багато в чому розвиток біохімічних досліджень пов’язаний саме з розробкою методик виділення з біологічних об’єктів речовин та їх очищення. Для того щоб процес виділення був ефективнішим, використовують ті види організмів або частини тіла, у яких концентрація досліджуваної речовини максимальна. (*Пригадайте, звідки вперше була виділена сахароза, а звідки — глюкоза й фруктоза.*) Виділення певних речовин ґрунтується на особливостях їх фізичних або хімічних властивостей — відмінності в молекулярній масі, формах, розмірах і зарядах молекул, розчинності у воді й інших розчинниках, специфічні реакції з певними речовинами та ін. Найпоширенішими методами розділення сумішей речовин, що використовують у біохімії, є *випарювання, фільтрація, діаліз* (від грец. *діалізіс* — розкладання, відділення), який заснований на здатності речовин дифундувати через спеціальну напівпроникну мембрану, *перегонка* — випарювання рідини при заданій температурі з наступною конденсацією, *екстракція* й *кристалізація*. (*Пригадайте, як поводяться насичені розчини солей.*)

Методи дослідження в біохімії. Основне завдання, що постає перед біохіміками, — визначення присутності конкретної речовини у пробі й оцінка її кількості. У випадку, якщо виявлена речовина раніше не була відома науці, то встановлюють її формулу, просторову структуру, хімічні та фізичні властивості, функції в організмі. Для того щоб розв’язати ці завдання, вчені

мають у своєму розпорядженні арсенал прийомів, які представляють собою сукупність спеціально розроблених методів та методик.

Об'ємно-ваговий аналіз заснований на кількісному визначенні обсягу або маси виділених речовин. Якщо аналізують рідку речовину або розчин солей, то кількісна оцінка речовини проводиться шляхом **титрування** (від фр. *титр* — характеристика). Наприклад, у лужний розчин спочатку додають індикатор фенолфталеїн до появи малинового забарвлення, а потім спеціальними піпетками — краплями кислоту. В момент нейтралізації, коли зникає забарвлення, фіксують кількість витраченої кислоти, що і є кількісним показником аналізованої речовини.

Кількісне визначення сухої речовини проводиться шляхом зважування, для цього можуть використовуватися ваги з різним рівнем роздільної здатності від 1 г до 1 мг. Наприклад, перед дослідником поставлено завдання: визначити масу нерозчинної у воді речовини, що містяться у пробі молока. Для цього молоко фільтрують, отриманий осад промивають, рідину випарюють, а отриману речовину сушать або прожарюють до сталої маси. Потім суху речовину зважують.

Оптичні методи. Це найбільш чутливі з біохімічних методів, які дозволяють визначити вміст речовини у пробі в концентрації менше тисячної мг. Крім того, ці методи мають високу специфічність і точність. Оптичні методи засновані на властивостях хімічних сполук забарвлювати розчин і таким чином робити його непрозорим. У результаті залежно від концентрації барвника змінюється інтенсивність поглинання світлової енергії, що фіксується спеціальними приладами. Розрізняють кілька груп оптичних методів.

Спектральний аналіз дозволяє визначити склад молекул і атомів у пробах на підставі визначення спектрів поглинання й випромінювання світлової енергії. Звичайно за допомогою цього методу у пробах визначають склад хімічних елементів.

Люмінесцентний аналіз має особливо високу чутливість. Він ґрунтується на явищі люмінесценції — світінні речовини, що виникає після поглинання нею енергії збудження. На досліджуваний біологічний об'єкт діють ультрафіолетовим світлом і за кольором люмінесценції визначають присутність певної речовини.

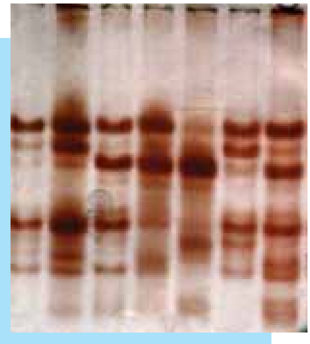
Інші методи. **Хроматографія** (від грец. *хрома* — колір і *графія* — письмо) — метод розділення й аналізу сумішей речовин, заснований на розподілі їх компонентів між двома фазами — нерухливою, що виконує роль сита, яке з різною швидкістю пропускає молекули залежно від їх фізичних та хімічних властивостей, і

рухливою, що протікає через нерухливу. В результаті суміші речовини поділяються на групи — фракції, наприклад на прості та складні білки.

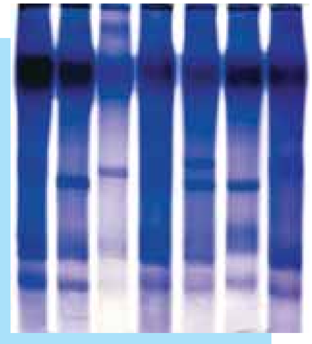
Електрофорез (від лат. *електро* і грец. *форез* — переносити). Оскільки макромолекули різняться між собою зарядом, то в електричному полі вони рухаються з різною швидкістю (*мал. 82*). Якщо, наприклад, підготовлену пробу крові помістити на спеціальний папір, просочений сольовим розчином — *буфером*, який має стале значення pH, а потім до одного боку паперу підвести анод, а до іншого — катод, то білки крові з різною швидкістю почнуть мігрувати від катода до анода. Якщо через якийсь час струм вимкнути, а папір пофарбувати спеціальним барвником, то можна виявити групи білків, що різняться зарядом, які відповідно мають різну електрофоретичну рухливість. У сучасній біохімії для електрофорезу застосовують спеціальні гелі — желеподібні речовини, що мають мікропори, через які білки, що рухаються в електричному полі, або молекули нуклеїнових кислот ніби фільтруються.

У біохімії білків і нуклеїнових кислот незамінним є метод **ультрацентрифугування**. Метод заснований на тому, що окремі частини молекули ДНК відрізняються за розмірами і масою, а тому будуть із різною швидкістю осідати в розчині під впливом відцентрової сили. Причому більші за розмірами молекули розташовуватимуться на периферії, а з меншою питомою вагою — ближче до осі обертання. Ультрацентрифугування проводиться у спеціальних центрифугах, що здійснюють до 50 тис. обертів за хвилину. В результаті під час тривалого центрифугування проб, поміщених у дуже міцні пробірки, вдається не просто розділити фракції ДНК, але й виділити їх у достатній кількості.

Дуже популярним у біохімії є метод **радіоактивного мічення**. Для цього використовуються радіоактивні **ізотопи** (від грец. *ізос* — однаковий і *топос* — місце). (*Вам уже відомо, що ізотопи — це атоми одного хімічного елемента, які відрізняються числом нейтронів.*) Один з основних елементів живого Карбон існує в природі у вигляді кількох ізотопів, серед яких радіоактивним є поширений у довкіллі ізотоп ^{14}C. Якщо у склянку з водою, де утримуються одноклітинні водорості, додати небагато карбонатної кислоти з ^{14}C, а потім поставити її на сонце, то через деякий час завдяки фотосинтезу частина CO_2, що утворюється при розкладанні цієї кислоти, виявиться включеною до складу клітини. Профільтрувавши вміст склянки і провівши вимір радіоактивності фільтра, у якому затрималися водорості, можна визначити швидкість накопичення Карбону, що і буде відповідати інтенсивності фотосинтезу та метаболізму водоростей. Розглянутий метод дослідження дістав назву радіокарбонового аналізу.



а)



б)

Мал. 82.

Електрофореграми білків:
а — ферменту неспецифічних естераз дощових червів;
б — транспортних білків крові — трансферинів карася. Кожний трек відповідає окремій особині

Подібні дослідження можна проводити і з тваринами, й навіть з окремими клітинами.

Ви, напевно, чули про радіокарбоновий аналіз, за допомогою якого можна визначити вік будь-яких викопних решток. Виявляється, в живому організмі ^{14}C перебуває в рівновазі з навколишнім середовищем і його концентрація залишається сталою. Після загибелі вміст ^{14}C починає повільно зменшуватися (період напіврозпаду становить 5,7 тис. років). Таким чином, за зменшенням концентрації цього ізотопу можна чітко визначити, скільки минуло часу з моменту загибелі організму.

Математичний аналіз даних. Отримані результати вимірювань називають **первинними даними**. Їх спочатку заносять у лабораторний журнал, а вже потім формують електронну **базу даних** і піддають математичній обробці, яка дозволяє визначити надійність і вірогідність отриманих результатів за допомогою **алгоритмів**. При цьому зазвичай обчислюється середнє значення, наприклад, вмісту жирів у молоці, отримане в серії дослідів, і статистична помилка цього середнього значення. Якщо помилка незначна, то можна стверджувати, що отримані результати вірогідні, а не є наслідком випадкових збігів. За допомогою алгоритмів біометрії (*пригадайте, що це за наука*) можна проводити й більш складні розрахунки — визначати вірогідність тенденцій або швидкості зміни різних процесів. Для цього проводиться моделювання з подальшим зіставленням отриманої моделі з реально існуючим об'єктом чи процесом, що дозволяє з тим або іншим рівнем імовірності затверджувати вірогідність відмінностей у результатах спостережуваних і очікуваних процесів, які відбуваються в організмі.

Результати узагальнюються у вигляді таблиць, графіків і **діаграм** — спеціальних графічних зображень, що унаочнюють числові співвідношення. Для цього використовують відповідні комп'ютерні програми.

Сучасна біохімія — це наука, розвиток якої тісно пов'язаний з розробкою методів виявлення, кількісного аналізу й виділення різних речовин, що містяться в організмі або утворюються в результаті життєдіяльності. У створенні цих методів використовуються не тільки досягнення хімії та фізики, але й математичні алгоритми й інформаційні технології.

Перевірте себе

1. Що таке проба?
2. Які методи використовуються в біохімії?
3. Для чого потрібний математичний аналіз отриманих результатів?

Як ви вважаєте?

1. Яка процедура біохімічних досліджень є найважливішою? Обґрунтуйте свою думку.
2. На сьогодні розроблено понад 100 методів виявлення холестерину. Чому дослідники не обмежуються розробкою одного найбільш ефективного, а знаходять все нові методи?
3. Спробуйте запропонувати власний метод оцінки швидкості метаболізму в організмі людини.
4. Чому радіокарбоновий аналіз може давати помилкові результати?

§11. ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ЖИВИХ ІСТОТ

Терміни та поняття: макроелементи, мікроелементи, органогенні та біогенні елементи, гемоціанін.

Атоми живого і періодична система хімічних елементів. Як відомо з курсу хімії, до складу тіл живої й неживої природи входять хімічні елементи. Причому живі організми утворені з тих самих атомів, що й тіла неживої природи. Встановлено, що в клітинах у різній кількості міститься близько 80 природних елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва. (*Пригадайте загальну кількість хімічних елементів, відомих науці.*) Тому відмінність у елементному складі живого й неживого полягає лише в різному кількісному співвідношенні хімічних елементів, а не в тому, що у клітинах організмів містяться атоми особливих хімічних елементів, яких більше ніде немає. Наприклад, Силіцій (Si) — другий за масою елемент земної кори (*пригадайте, пісок — це ніщо інше, як силіцій(IV) оксид* SiO_2) — у клітинах живих організмів становить менше 0,0001 % і не входить навіть до двадцяти найпоширеніших елементів живого.

Проте в живій речовині накопичуються елементи з певними властивостями. Так, відмічено, що найбільше живої маси складають елементи Карбон, Нітроген, Фосфор, Сульфур (C, N, P, S), що легко утворюють розчинні та газуваті сполуки, хоча в земній корі їх вміст відносно незначний. Навпаки елементи, що зазвичай утворюють нерозчинні у воді сполуки — Сіліцій, Ферум, Алюміній (Si, Fe, Al), у складі організмів зустрічаються в мізерній кількості, хоча є головними в неживій природі.

Взагалі між біологічною роллю елемента та його положенням у періодичній системі є певна відповідність. Перш за все, органічний світ побудований з легких атомів. Крім того, при переході від легких до важких елементів у межах однієї підгрупи підвищується токсичність

елементів (наприклад Цинк, Кадмій, Меркурій Zn, Cd, Hg) і відповідно знижується їх вміст у живому; елементи окремих підгруп періодичної системи Д.І. Менделєєва можуть бути взаємозамінними, як-от: Кальцій, Стронцій, Барій (Ca, Sr, Ba); металічні елементи восьмої групи — Ферум, Кобальт, Нікель (Fe, Co, Ni) є компонентами біоактивних сполук тощо.

Що таке макро- і мікроелементи. Хімічні елементи, які містяться в живих організмах, відповідно до їх кількості в клітині поділяють на дві групи: макроелементи і мікроелементи.

Групу **макроелементів** складають 12 найприродніших для живих організмів елементів. Вони містяться в усіх організмах, їх наявність є однією з умов життєдіяльності клітини. Особливо великий вміст у клітині чотирьох макроелементів: Оксигену (O), Карбону (C), Гідрогену (H), Нітрогену (N). Їх частка становить 98 % від загального вмісту хімічних елементів клітини, тому їх називають **органогенними елементами**. І це не випадково: Гідроген і Оксиген утворюють воду, яка становить більшу частину маси клітини, Карбон і Нітроген є складовою всіх білків. Вчені виділяють кілька причин такої важливості цих елементів. По-перше, атоми цих елементів утворюють ковалентні зв'язки (*пригадайте з хімії сутність і різновиди, типи цього хімічного зв'язку*). По-друге, ці атоми характеризуються малими розмірами, завдяки чому вони утворюють «компактні» молекули з малими міжатомними відстанями, що робить їх досить стійкими.



Мал. 83. *Кальмар*, як і інші головоногі молюски, пересувається завдяки реактивній тязі

Вміст решти 8 макроелементів: Калію (K), Сульфуру (S), Фосфору (P), Хлору (Cl), Магнію (Mg), Кальцію (Ca), Натрію (Na), Феруму (Fe) — обчислюється десятими і сотими відсотка. Їх загальна питома вага становить 1,9 % маси клітини, а біологічні функції детально вивчені. Так, Сульфур є складовою деяких білків, Ферум входить до складу гемоглобіну, Магній — хлорофілу, а Кальцій — основний елемент неорганічних речовин, що утворює кісткову тканину. Біологічне значення мають іони макроелементів: наявність іонів Кальцію є одним із факторів зсідання крові, іони Na^+, K^+ і Cl^- забезпечують проникність клітинної мембрани, відповідають за проведення нервового імпульсу в тварин та людини і беруть участь у здійсненні такої функції організму, як подразливість.

Мікроелементи — це хімічні елементи, потрібні організму в незначній кількості, вони зазвичай становлять тисячні частки відсотка. На них загалом припадає 0,01 % маси клітини. Як і більшість макроелементів, вони мають певні функції, без них неможливе життя клітини. Налічують понад 30 мікроелементів, серед яких хімічні металічні елементи: Алюміній (Al), Купрум (Cu), Ман-

ган (Mn), Цинк (Zn), Молібден (Mo), Кобальт (Co), Нікол (Ni), Стронцій (Sr) — і неметалічні елементи: Йод (I), Селен (Se), Бром (Br), Флуор (F), Арсен (As), Бор (B). Мікроелементи є складовою ряду біологічно важливих сполук, наприклад, ферментів, гормонів, вітамінів, що впливають на швидкість процесів обміну речовин, ріст і розвиток.

Межа між мікро- і макроелементами умовна: хімічні елементи, вміст яких в організмі одних видів тварин є мізерним, в інших — значним, що дозволяє називати їх макроелементами. Так, у головоногих молюсків (*мал. 83*) і десятиногих раків (*мал. 84*) замість гемоглобіну в крові міститься **гемоціанін** (від грец. *гема* — кров і *цианос* — темно-синій), до складу якого входить Купрум (Cu), а в найпримітивнішої хордової тварини асцидії (*мал. 85*) у безбарвній крові міститься металічний елемент Ванадій. Тому на відміну від інших тварин, хімічні елементи Купрум і Ванадій у цих організмах накопичуються у величезній кількості.



Мал. 84.
Креветка теж належить до десятиногих раків, хоча і не має грізних клешень

Чи всі хімічні елементи виконують певну функцію в організмі. Питання про те, чи всі 80 хімічних елементів, серед яких і ультрамікроелементи (менш як 0,000001 %): Аурум (Au), Меркурій (Hg), Берилій (Be), Цезій (Cs), Уран (U) і Радій (Ra), мають певне значення для організму, остаточно не з'ясоване. В.І. Вернадський вважав, що всі елементи, які постійно є в організмі, відіграють притаманну саме їм фізіологічну роль. Хоча на сьогодні достовірно встановлено значення лише близько 30 хімічних елементів, без яких організм людини не може нормально існувати. Всі вони життєво необхідні. Однак можливо, що якась частина ультрамікроелементів потрапляє в організм із зовнішнього середовища разом з їжею і просто «замінює» елементи з подібними хімічними властивостями. Так, Цезій (Cs) у клітинах м'язів може заміщати Калій (K), Стронцій (Sr) в кістковій тканині — Кальцій (Ca). Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС в довкілля потрапили Стронцій і Цезій, які утворюють радіоактивні ізотопи, що є досить небезпечним для людини. Річ у тім, що радіоізотопи, які увійшли до складу речовин, можуть протягом кількох місяців або навіть років опромінювати організм, спричиняючи пошкодження молекул і структур клітин.



Мал. 85.
Асцидії — колоніальні і найбільш примітивні хордові тварини

Серед елементів, що містяться в живих організмах, налічують близько 20 **біогенних елементів**, які є обов'язковими і постійно входять до складу клітин всіх живих істот. До них належать усі макроелементи і деякі мікроелементи. Наявність особливої групи біогенних елементів доводить, що всі клітини мають єдине походження. Дефіцит навіть одного з цих елементів є небезпечним для організму (*табл. 2*).

Таблиця 2.
Основні біогенні елементи та їх значення для організмів

Елемент і його символ	Масова частка (%)	Біологічне значення елементів
Оксиген (O)	65–75	Входить до складу води й біологічно важливих органічних речовин
Карбон (C)	15–18	Обов'язковий компонент усіх органічних речовин
Гідроген (H)	8–10	Входить до складу води й усіх органічних речовин
Нітроген (N)	1,5–3,0	Неодмінний компонент амінокислот, пептидів, білків, нуклеїнових кислот
Фосфор (P)	0,20–1,0	Неодмінний компонент нуклеїнових кислот, входить до складу кісток
Калій (K)	0,15–0,40	Головний позитивний іон всередині клітини, покращує роботу міокарда, регулює водно-сольовий обмін
Сульфур (S)	0,15–0,20	Входить до складу білків, знижує чутливість організму до алергії
Хлор (Cl)	0,05–0,10	Регулює баланс води в організмі людини, складова шлункового соку
Магній (Mg)	0,02–0,03	Входить до складу хлорофілу, активізує роботу багатьох ферментів
Натрій (Na)	0,02–0,03	Головний позитивний йон поза клітиною, відповідає за проведення нервового імпульсу
Кальцій (Ca)	0,04–2,0	Активізує скоротливість м'язових волокон, входить до складу кісток, регулює розвиток листків рослин
Ферум (Fe)	0,01–0,015	Входить до складу гемоглобіну
Цинк (Zn)	0,0003	Активізує деякі ферменти, має імуностимулюючу дію
Купрум (Cu)	0,0002	Активізує роботу деяких ферментів
Йод (I)	0,0001	Входить до складу гормону щитоподібної залози
Флуор (F)	0,0001	Входить до складу зубної емалі
Кобальт (Co)	Менше 0,0001	Входить до складу вітамінів, бере участь у регуляції кровотворення
Манган (Mn)	Менше 0,0001	Підвищує активність ферментів, сприяє фотосинтезу
Бор (B)	Менше 0,0001	Впливає на процеси росту
Молібден (Mo)	Менше 0,0001	Впливає на швидкість синтезу білка в рослин

Отже, значних відмінностей у хімічному складі об'єктів живої й неживої природи немає: вони складаються з однакових елементів, але містять їх в різних пропорціях. Усупереч деяким відмінностям в елементному складі різних клітин, він переважно є сталим для усіх живих організмів, що свідчить про спільність походження всіх клітин.

Особливо важливими для клітини є біогенні елементи, що поділяються на макроелементи, питома вага яких досить значна, і мікроелементи, які становлять десяті чи навіть соті відсотка від маси клітини, однак нормальна життєдіяльність без цих елементів неможлива.

Перевірте себе

1. У чому принципова відмінність елементного складу живого й неживого?
2. Чим зумовлений поділ хімічних елементів на макро- і мікроелементи?
3. Чому Оксиген, Гідроген, Карбон і Нітроген є найпоширенішими елементами живої природи?
4. Назвіть функції мікроелементів у клітині.
5. Які елементи називаються органогенними, а які — біогенними?

Як ви вважаєте?

1. Визначте закономірності розподілу біогенних елементів у таблиці Д.І. Менделєєва.
2. Як відомо, Оксиген — найпоширеніший хімічний елемент на Землі. Чи є його наявність передумовою виникнення життя на інших планетах?
3. Чому кров восьминога блакитного кольору?

§12. ПОТРЕБИ БІОСИСТЕМ У ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Терміни та поняття: ендемічний зоб, йодизм, карієс, хлороз, біогеохімічний ланцюг, біогеохімічна зона.

До чого призводить дефіцит або надлишок хімічних елементів. Нестача або надлишок макро- і мікроелементів шкідливо впливають на функціонування клітин і організму в цілому і зрештою спричинюють захворювання, які навіть можуть призвести до смерті. Саме тому в добовому раціоні людини, домашніх тварин і сільськогосподарських рослин повинна бути чітко визначена кількість необхідних для нормального життя біогенних елементів.

Дефіцит певного біогенного елементу викликає специфічну хворобу, яка має особливі зовнішні прояви — симптоми, за якими лікар, ветеринар чи агроном можуть визначити, який саме з хімічних елементів недоотримує організм людини, тварини чи рослини.

Дефіцит Йоду в їжі людей, що мешкають у гірській місцевості, зумовлює зниження його вмісту в їх організмі, що призводить до порушення функції щитоподібної залози

(*пригадайте, у чому полягає значення для людини цього органу внутрішньої секреції*), внаслідок чого виникає хвороба — **ендемічний** (від грец. *ендемос* — місцевий) **зоб**. При цій хворобі у людини знижується швидкість обміну речовин, зменшується рівень постачання клітини енергією, пригнічується синтез білка, відкладається забагато жиру, уповільнюється ріст, знижується здатність до розмноження. У разі вживання надмірної кількості кухонної солі або хлорованої води організм людини може втрачати Йод. (*Пригадайте з хімії явище витіснення одного галогена іншим.*) З метою профілактики та лікування цієї хвороби збільшують вживання йодовмісних продуктів, додають препарати, що містять Йод, або вживають спеціальну кухонну (йодовану) сіль. Однак при лікуванні чи профілактиці дефіциту Йоду ні в якому разі не можна «перестаратися», оскільки в організмі підтримується певний баланс елементів, який не слід порушувати. Це стосується і надлишку Йоду, який може призвести до захворювання — **йодизму**.

Вам, напевно, вже знайоме таке захворювання, як **карієс**, зумовлене недостатньою кількістю Флуору в організмі людини.

Особливо небезпечними для людини є надлишки мікроелементів (Молібдену, Селену, Хрому, Нікелю, Арсену та Стронцію), і хоча їх надлишок виводиться з організму, проте вони все ж таки встигають викликати захворювання, а деякі з них — сильне отруєння.



Мал. 86. Так виглядає *хлороз* у кімнатних рослин

Подібні захворювання властиві не тільки тваринам, а й рослинам. Так, нестача Феруму в ґрунті порушує життєдіяльність рослин, зокрема гальмується процес утворення хлорофілу, що призводить до **хлорозу** (*мал. 86*). У таких рослин ріст уповільнений, а листя жовтіє й біліє. Для запобігання нестачі мікроелементів у ґрунті необхідно використовувати спеціальні мікродобрива.

Слід зазначити, що надлишок чи дефіцит хімічних елементів є специфічним для певного виду організму, а тому дози мікроелементів, які є нормальними для рослин, можуть бути смертельно небезпечними для тварин. Якщо у ґрунті обмаль Купруму, то і рослини містять цей елемент у мізерній кількості, однак це ніяк не позначається на їх життєдіяльності, проте в корів, які пасуться на луках з такою рослинністю, розвивається хвороба «мідна нестача». Останнім часом виявилося, що і для людини дефіцит Купруму є дуже небезпечним, брак цього елементу може призводити до руйнування кровоносних судин, ненормального розвитку кісток і навіть, як тепер вважають, бути однією з причин ракових захворювань. (*Зверніть на це увагу.*)

Деякі рослини накопичують великі запаси хімічного елементу Нікелю. Поїдаючи такі рослини, вівці отримують його в надлишковій кількості. Як наслідок — отруєння, в

результаті якого на рогівці оболонці ока розвивається більмо. Закінчується ця хвороба сліпотою.

Що таке ендемічні хвороби й біогеохімічні зони. Результати досліджень В.І. Вернадського і його учнів, проведені ще у першій половині XX ст., засвідчили, що мікроелементи нерівномірно розподілені по поверхні суходолу: зони з перевагою одних мікроелементів змінюються місцевостями, де ці самі елементи можуть бути в дефіциті. Вчені встановили існування **біогеохімічного ланцюга** — зв'язку між хімічним складом ґрунту, рослинами і тваринами, виділили **біогеохімічні зони** — території, які характеризуються певним вмістом і співвідношенням біогенних елементів. Як правило, ці зони збігаються із межами природно-кліматичних зон і відповідають певним типам ґрунтів.

Недолік або надлишок у ґрунті, воді й повітрі певних біогенних елементів відповідно призводить до їх дефіциту або надлишку спочатку в рослинах, а потім у тваринах, що їх поїдають. При цьому одні види не відчувають жодного дискомфорту, інші до нього пристосовуються, а в деяких виникають **ендемічні захворювання**, характерні для конкретної місцевості. До таких належать й вищезгадані ендемічний зоб і «мідна хвороба» худоби. Ендемічні хвороби зазвичай пов'язані з географічно обмеженими територіями гірської, заболоченої місцевості, з місцями покладів руди й вулканічної діяльності.

У межах України розташовуються дві геохімічні області. Одна з них знаходиться у *лісостеповій та степовій чорноземній зонах*. У цих місцевостях практично не зустрічається дефіцит біогенних елементів, а співвідношення між ними близьке до оптимального для живих істот. У межах цієї зони достатня кількість Ca, Co, Cu, Mn, збалансоване співвідношення S, Zn, Mo, однак місцями буває дефіцит K, B, P. Друга геохімічна зона — *гірська*, до якої належать території Карпат і Криму. Для гірської зони характерний підвищений вміст одних елементів (найчастіше Co) і дефіцит інших. Так, територія Українських Карпат бідна на Йод (I) та Манган (Mn).

Вміст і розподіл мікроелементів у ґрунті залежить від різних чинників, наприклад процесів ґрунтоутворення, хімічного складу ґрунту. Так, чорноземи мають найбільш високий вміст біогенних хімічних елементів, а в сірих лісових ґрунтах він знижений.

У результаті численних досліджень учені встановили існування залежності між вмістом елементів у ґрунті та частотою різних захворювань у населення. Баланс мікроелементів у навколишньому середовищі позначається на балансі мікроелементів в організмі людини. Наприклад, рак шлунка або легень часто вражає жителів населених пунктів, розташованих на ґрунтах із дефіцитом Fe, Co,

Zn, підвищений вміст у середовищі існування Mo і Zn збільшує частоту захворювань на рак стравоходу.

Прогнозування ендемічних хвороб та їх профілактика (внесення мікродобрив, складання оптимального раціону харчування населення, врахування закономірностей географічного поширення мікроелементів у навколишньому середовищі) є важливими заходами у забезпеченні балансу хімічних елементів в організмах (*табл. 3*).

Таблиця 3.
Ознаки дефіциту певних біологічно активних елементів у тварин і рослин

Хімічний елемент	Ознаки дефіциту хімічного елементу	
	Тварини	**Рослини**
Ca	ламкість кісток, рахіт, судоми	провисання частини листової пластинки, бугорчастість листків
Mg	уповільнення росту й порушення нерво-во-м'язової діяльності	на нижніх листках між зеленими жилками з'являються яскраві жовті або жовтогарячі плями, у середині яких тканина швидко відмирає, у результаті чого виникають бурі ділянки
P	рахіт	слабкий ріст, короткі й тонкі пагони, передчасне опадання листків
K	блювота, захворювання кишкового тракту, паралічі	«крайовий опік» листків: на нижніх листках побуріння й висихання країв, яке починається з кінчиків листової пластинки
S	втрата апетиту, випадання шерсті, надлишкові слинота і сльозовиділення	жовта листова пластинка, як при дефіциті Нітрогену, але вона виражена як на старих, так і на молодих листках поблизу точки росту
I	утворення зоба, затримка росту	зниження стійкості до захворювань
F	карієс, ламкість кісток	знебарвлення оцвітини, засихання листків
Fe	анемія	забарвлення верхніх листків стає блідо-зеленим або жовтим, між жилками з'являються білі ділянки, і весь листок згодом може стати білим
Zn	уповільнення росту, анемія, безпліддя, захворювання очей, виснаження, загибель	потовщення листків, плямистість пагона, край листка закручується догори
Co	зниження росту, деформація кісток, анемія	пригнічення розвитку, швидке зів'янення та загибель

Закінчення таблиці

Хімічний Елемент	Тварини	Рослини
Cu	анемія, проноси, свербіж шкіри, порушення координації, загибель	бліде забарвлення і зупинка росту молодих листків
B	порушення росту кісток	рослини чорніють і відмирають в точках росту, молоді листки дрібні, бліді, сильно деформовані, квітки не утворюються
Mn	уповільнення росту кісток, рахіт, анемія	між жилками з'являються жовтувато-зелені або жовтувато-коричневі плями, жилки залишаються зеленими, що надає листку строкатого вигляду
Se	атрофія мускулатури, розвиток пухлин	—

Як надлишок, так і нестача біологічно важливих хімічних елементів супроводжується порушеннями функціонування клітини й усього організму як людини, тварин, так і рослин. У ряді випадків це призводить до захворювань і навіть смерті.

На Землі є зони з різною концентрацією біологічно активних елементів, які називаються біогеохімічними зонами. Оптимальною щодо хімічного складу є лісостепова й степова чорноземна зони, які займають більшу частину території України. Проблемними щодо цього є гірські місцевості, де зазвичай існує дефіцит Йоду й інших мікроелементів.

Перевірте себе

1. Чим викликане захворювання на ендемічний зоб, а чим — йодизм?
2. Що таке біогеохімічний ланцюг і біогеохімічна зона?
3. Які зони у нашій країні є найбільш проблемними з точки зору мінерального раціону людини?
4. Перерахуйте ознаки нестачі певних елементів в організмі рослин і тварин.

Як ви вважаєте?

1. Немає нічого дивного в тому, що дефіцит певного хімічного елементу призводить до хвороби. А чому його надлишок також небезпечний для здоров'я людини?
2. Для якої тварини найбільш небезпечним є дефіцит мікроелементів в навколишньому середовищі — травоїдної чи м'ясоїдної?

Семінар 6. Альтернативна біохімія

Інформація до роздумів. Альтернативна біохімія — напрям науки, що вивчає можливість існування інших форм живої речовини, донині невідомих.

Альтернативна біохімія дає можливість припустити: • як розвивалося б життя на нашій планеті, якби первинне утворення живої речовини відбувалося іншим шляхом; • можливість існування на Землі альтернативних форм життя (на сьогодні активно обговорюється й дискутується питання про те, що деякі мінерали, зокрема агати, і є альтернативною формою життя); • імовірність існування життя на інших планетах в умовах, кардинально відмінних від земних.

Ідея альтернативної біохімії спирається на існування поруч з нами живих істот, чий обмін речовин суттєво відрізняється від обміну речовин переважної більшості організмів. Наприклад, анаеробний метаболізм або обмін речовин хемотрофних мікроорганізмів, що використовують як окислювач не кисень, а нітрати.

Іноді найсміливіші припущення й гіпотези, що не узгоджуються з положеннями класичної науки, виявляються правильними. Колись вчені й припустити не могли, що можливе існування життя в позбавлених світла глибинах термальних сульфуровмісних джерел. Сьогодні виявлені бактерії, що живуть у жерлах вулканів або крижаних пустелях Антарктиди, у гірських породах, які містять важкі метали, у воді, що використовується в системі охолодження атомних реакторів тощо. Альтернативні з біохімічної точки зору форми життя можуть існувати на далеких планетах, а можливо і в нас під ногами. Існує теорія про «тіньову біосферу», що складається з живої речовини альтернативної природи. Чому ж ми не помічаємо того, що існує поруч? А тому, на думку прихильників альтернативної біохімії, що всі методи, які використовують біологи для ідентифікації нових організмів, створені із прицілом на звичні форми життя, а інших форм життя земні дослідники можуть просто не помічати.

Найчастіше формулюється припущення про існування кремнієвої форми життя. Сполуки хімічного елементу Силіцію проявляють властивості, подібні до властивостей Карбону. Силікони — полімери, які включають ланцюжки атомів Силіцію й Оксигену, що чергуються — це речовини, які організм людини сприймає цілком дружньо, їх активно використовують, наприклад у косметології. Силіконові полімери стійкі до дії високих температур (не дарма із силікону роблять м'які форми для випічки), тому силіконова форма життя була б прийнятною для планет з більш високими температурами, ніж на Землі. Якщо припустити існування «кремнієвого» життя, яке використовує для дихання кисень, то вийде, що такі організми вдихають кисень, а видихають SiO_2, тобто… пісок!

Земні форми життя активно використовують Силіцій: наприклад, діатомові водорості накопичують кремнезем (*пригадайте формулу цієї речовини*), майже ідентичний дорогоцінному каменю опалу. Скляні стулки оболонок діатомових водоростей неймовірно різноманітні й прекрасні, вкриті складним візерунком, тому під мікроскопом багато діатомових водоростей нагадують ювелірні прикраси надзвичайно тонкої роботи.

Ідея альтернативного життя здалася настільки цікавою для письменників-фантастів, що ними було створено цілу низку художніх творів, присвячених цій ідеї. Кремнієва форма життя описується в повісті А. Днєпрова «Глиняний бог», оповіданні А. Константинова «Контакт на Ленжевене» і навіть в одній із серій популярного американського телесеріалу «Секретні матеріали». Іван Єфремов у повісті «Серце Змії» уявив життя, у якому роль Оксигену відіграв Флуор. В оповіданні Кіра Буличова «Снігурка» змальовано життя на основі сполук Нітрогену. Припускали існування життя у вигляді плазмових згустків і

Станіслав Лем у повісті «Правда», і Олаф Степлдон у «Творці зірок», і Едмонд Гамільтон у «Дітях зірок», і Артур Кларк в оповіданні «Із сонячного черева».

Але не тільки письменники робили припущення про альтернативні форми життя. Видатний учений К.Е. Ціолковський (1857–1935) висловив гіпотезу про нехімічні способи життя у вигляді плазмоїдів — плазмових згустків (приклад плазмоїду — кульова блискавка). За припущенням науковця, Сонце — населена зірка, і саме плазмоїди є тією формою життя, що населяє Сонце. І якщо ідеї Ціолковського про польоти у космос, які здавалися його сучасникам фантастичними й абсурдними, сьогодні для нас звичайна справа, то чому б не припустити, що плазмоїдні організми насправді існують? До речі, останні наукові дослідження показали, що за певних умов плазмоїди здатні розмножуватися!

Теми для рефератів, виступів і дискусій

1. Які переваги і недоліки мали б альтернативні розчинники у порівнянні з водою: а) амоніак (NH_3); б) гідроген фторид (HF); в) гідроген ціанід (HCN)? Запропонуйте власний варіант.
2. Які властивості у порівнянні із земними мали б організми, структуроутворюючими атомами яких були б: а) Силіцій (Si); б) Фосфор (P); в) Бор (B)? Запропонуйте власний варіант.
3. Які переваги і недоліки мали б альтернативні: а) оксиди Нітрогену; б) оксиди Сульфуру? Запропонуйте власний варіант.
4. Уявіть нехімічний спосіб життя плазмоїдів. Опишіть, яким ви бачите таке життя.
5. Побудуйте свої припущення щодо існування «дзеркальної» форми життя. Яким ви уявляєте його?

Джерела інформації

http://ru.wikipedia.org/wiki/Альтернативная_биохимия
http://w0.sao.ru/Doc-k8/Science/Public/Bulletin/Vol60-61/p106.pdf
http://wapedia.mobi/ru/Альтернативная_биохимия?t=4.#5.
http://www.sciam.ru/2008/3/biology.shtml
http://ru.wikipedia.org/wiki/Плазмоид

Лабораторна робота № 1

Виявлення катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} у кістковій тканині

Мета: здійснити експеримент з виявлення йонів Ca^{2+} і Mg^{2+} в кістковій тканині з використанням методів якісного аналізу

Обладнання, матеріали, речовини: зразки кісткової тканини, розчини сульфатної кислоти (ω = 0,5 %), хлоридної кислоти (ω = 10 %), амоніаку (концентрований), амоній оксалату (насичений), натрій гідрогенортофосфату (ω = 10 %), колба, тигельні щипці, пальник, паперовий фільтр, 2 пробірки

Довідка: для виявлення йонів Ca^{2+} використовують щавлеву кислоту $H_2C_2O_4$ або її солі — оксалати, наприклад амоній оксалат $(NH_4)_2C_2O_4$. Визначення йонів Mg^{2+}, що входять до складу магній ортофосфату, здійснюють за допомогою концентрованого розчину амоніаку

Інструктивна картка

1. Нанесіть краплю розчину хлоридної кислоти на зразок досліджуваної кісткової тканини. Затисніть зразок тигельними щипцями і внесіть у полум'я пальника. Спостерігайте, як зразок з кислотою набуває цегляного забарвлення. Це свідчить про наявність іонів Ca^{2+}.
2. Помістіть у колбу 5 г зразка кісткової тканини, долийте 25 мл розчину сульфатної кислоти і залиште на добу. В результаті обробки сульфатною кислотою кісткової тканини неорганічні речовини в її складі розчиняться.
3. Відфільтруйте 3 мл суміші в пробірку, нагрійте і додайте 3 краплини розчину амоній оксалату. Спостерігається утворення білого осаду кальцій оксалату CaC_2O_4.
4. Осад відфільтруйте і до фільтрату додайте кілька крапель розчину амоніаку і натрій гідрогенортофосфату. Відбувається утворення осаду подвійної солі магній-амоній ортофосфату $MgNH_4PO_4$.

Оформлення результатів роботи

Зробіть **висновок** про якісні реакції з визначення катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} у біологічних об'єктах на прикладі кісткової тканини і виконайте завдання.

Завдання

Запишіть рівняння реакцій, що мали місце в проведеному експерименті.

Тема 4. Неорганічні речовини живих організмів

§13. НЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ І СПОЛУКИ В ЖИВИХ СИСТЕМАХ

Терміни та поняття: електроліти, аеробні організми, метаболіт, баланс неорганічних речовин, біогеохімічний цикл.

Що таке неорганічні речовини. Неорганічні речовини поділяють на прості, що складаються з атомів одного хімічного елементу, і складні — з атомів різних елементів. Слід зазначити, що в живих організмах, на відміну від неживих об'єктів, не існує простих речовин. Всі молекули, що входять до живої речовини, є сполуками — складними речовинами. (*Пригадайте, яким чином еритроцити крові транспортують кисень по організму людини.*) Складні неорганічні сполуки поділяються на чотири класи: — оксиди, кислоти, основи і солі. Їх представники входять до складу всіх живих систем.

Неорганічні сполуки також поділяють на дві основні групи: *бінарні*, що складаються з атомів двох хімічних елементів, і *багатокомпонентні* — більше двох елементів. І ті й інші сполуки є важливими складовими організму.

Практично всі хімічні елементи утворюють оксиди (*пригадайте, які не утворюють*). Є оксиди, яким відповідають

гідрати (від грец. *гідро* — вода), що можуть мати кислотні, лужні й амфотерні властивості. *Гідрати оксидів* з різними властивостями, взаємодіючи один з одним, утворюють солі.

Поширеним типом хімічного зв'язку, властивого неорганічним сполукам, є іонний зв'язок. Коли атом одного елементу передає свій електрон (або кілька електронів) іншому, утворюються йони, які мають певний заряд. Атоми, що приєднали електрони, мають негативний заряд і в електричному полі рухаються до аноду, називаються аніонами, а ті, що віддали електрони — катіони, — мають позитивний заряд і відповідно рухаються до катоду. При дисоціації солей, кислот чи основ (*пригадайте, як називають водорозчинні основи*) у воді їх молекули розпадаються на йони. Такі розчини — **електроліти** (від грец. *електрон* — смола, бурштин і літос — той, що розчиняється) — здатні проводити електричний струм. Всі рідини будь-якого організму і клітин є електролітами.

Незважаючи на «небіологічну» назву, неорганічні сполуки є обов'язковим компонентом будь-якого живого організму. При цьому неорганічні речовини зазвичай становлять близько 81–81,5 % маси середньостатистичної клітини: на воду припадає приблизно 80 %, а на мінеральні солі, кислоти й основи — не більше 1,5 %.

Прості неорганічні речовини і сполуки, їх значення в організмі. Як вже зазначалось, до складу живих систем не входять прості речовини, а тільки складні. Однак прості речовини відіграють ключову роль в життєдіяльності як окремих клітин, так і організму в цілому. До таких речовин належать кисень і озон.

Єдина проста речовина, без якої не може обійтись більшість організмів, — це кисень (O_2). (*Пригадайте, які організми можуть обійтися без кисню, а які взагалі не можуть жити в кисневому середовищі.*)

Усі **аеробні** (від грец. *аер* — повітря і *біос* — життя) **організми** використовують кисень для дихання. Як ви, напевно, пам'ятаєте, процес дихання — це не тільки потрапляння повітря до організму за допомогою органів дихальної системи, а, перш за все, окиснення різноманітних органічних сполук киснем на рівні клітини. Завдяки цьому організм отримує енергію, необхідну для підтримання життєдіяльності.

Озон (O_3) — теж проста речовина, дуже сильний окисник, який при розкладі утворює вільні атоми Оксигену, що реагують з такими речовинами, з якими зазвичай двохатомний кисень практично не взаємодіє.

У підвищеній концентрації озон згубно діє на клітини, тому його вважають отруйною речовиною. Озон використовують у медицині та харчовій промисловості для боротьби з бактеріями та пліснявою.

Важливу роль у живих системах відіграють неорганічні бінарні сполуки, що перебувають у газоподібному стані (виняток — вода).

Карбон(IV) оксид (CO_2), або вуглекислий газ, як кисень і вода, є ключовою речовиною, без якої неможливе існування життя в будь-якій формі. Ця речовина забезпечує постачання Карбону до живих систем. Без вуглекислого газу не відбувається фотосинтез, відповідно неможливе життя не тільки рослин, а й всіх живих організмів на Землі. У тварин, а також у рослин в нічний період вуглекислий газ — це **метаболіт** (від лат. *метаболе* — зміни, перетворення), тобто речовина, яка утворилася в організмі як кінцевий або проміжній продукт обміну речовин. Однак у незначній кількості CO_2 є важливим регулятором стану організму, наприклад у людини обумовлює тонус кровоносних судин. Карбон(IV) оксид, на відміну від карбон(II) оксиду (CO), не є речовиною отруйною, однак завелика його концентрація в повітрі викликає задуху. Проте і дефіцит CO_2 також шкідливий для організму людини.

Два оксиди (CO і NO) в незначній кількості виробляються клітиною. Вони, так само як і сірководень (H_2S), беруть участь у передачі сигналів від однієї клітини до іншої. Незважаючи на те, що сірководень у тисячних частках — отруйна речовина, при розведенні в мільйони разів він є важливим регулятором обміну речовин, одним з «гарантів» цілісності клітини.

Амоніак (NH_3) — речовина, без якої неможливе життя рослин. Якщо тварини з їжею отримують сполуки Нітрогену, з яких утворюються компоненти білків, то рослини поглинають їх з водою із ґрунту. Серед цих сполук зустрічається і розчин амоніаку. Разом з тим у значній кількості ця речовина для рослин згубна. Це ще один наочний приклад відомої істини: «У природі немає отруйних і неотруйних речовин, справа тільки в їх кількості». Для тварин амоніак — отрута, він завжди виводиться з організму.

Баланс неорганічних речовин. На відміну від органічних речовин, які у переважній більшості утворюються в клітинах, неорганічні надходять до організмів із навколишнього середовища. Тому очевидно, що у цьому випадку повинен спостерігатися певний баланс — стале співвідношення між кількістю речовин, що виходять з організму і кількістю речовин, що до нього надходять. Особливе місце в житті будь-якого організму займає баланс води. Порушення **балансу неорганічних речовин** неодмінно призводить до розладів функціонування, а згодом захворювань (*пригадайте, які хвороби викликає нестача мікроелементів*), а при подальшому нарощуванні дисбалансу — до смерті. Баланс неорганічних

речовин підтримується на кількох рівнях організації живої матерії: клітинному, організменому, біогеоценотичному, біосферному. В останньому випадку баланс реалізується в **біогеохімічних циклах** хімічних елементів: Нітрогену, Сульфуру, Фосфору, Карбону й Оксигену.

До складу живих систем входять представники всіх класів неорганічних речовин (оксиди, кислоти, основи і солі). Прості речовини, що складаються з однакових атомів, хоча і відіграють певну роль в живих системах, до складу живого не входять. Значимість неорганічних речовин випливає хоча б із того, що вони складають близько 87 % маси клітини, з яких близько 85 % припадає на воду. При цьому в живих системах підтримується певний баланс неорганічних речовин, який реалізується на кількох рівнях організації живого.

Перевірте себе

1. Які неорганічні речовини входять до складу живого, а які — ні?
2. Яка роль оксидів Нітрогену і Карбону в житті тварин і рослин?
3. Що таке баланс неорганічних речовин і навіщо він потрібен?

Як ви вважаєте?

1. Чому кисень, який потрапив до організму, не можна вважати простою речовиною?
2. Чи є в живих організмах зовсім непотрібні речовини?

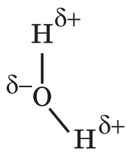
§14. ВОДА ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ

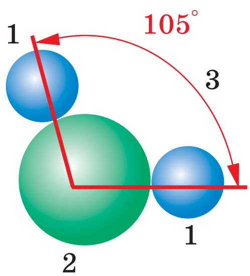
Терміни та поняття: вода, водневі зв’язки, істинний розчин, колоїдний розчин, дифузія, осмос, гідроліз, теплоємність, теплопровідність, поверхневий натяг, водний баланс, хронічне зневоднення.

Вода — це найпоширеніша хімічна сполука на Землі, її маса найбільша у живому організмі. Підраховано, що вода становить 85 % від загальної маси середньостатистичної клітини. Тоді як в клітинах людини вода в середньому становить близько 64 %. Проте вміст води в різних клітинах може суттєво коливатися: від 10 % у клітинах емалі зубів до 90 % у клітинах зародка ссавців. Причому молоді клітини містять води більше, ніж старі. Так, в клітинах немовляти вода становить 86 %, у клітинах старої людини лише 50 %.

В особин чоловічої статі вміст води в клітинах становить в середньому 63 %, жіночої — трохи менше 52 %. Чим це викликано? Виявляється, все досить просто. У жіночому тілі багато жирової тканини, в клітинах якої мало води. Тому вміст води в жіночому організмі приблизно на 6–10 % нижчий, ніж у чоловічому.

Унікальні властивості води обумовлені структурою її молекули. З курсу хімії вам відомо, що різна електронегативність атомів Гідрогену і Оксигену є причиною виникнення ковалентного полярного зв'язку в молекулі води. Молекула води має форму трикутника (*мал. 87*), у якому електричні заряди розташовані несиметрично, і є диполем (*пригадайте означення цього терміну*).





Мал. 87.
Схема будови молекули води:
1 — Гідроген;
2 — Оксиген;
3 — валентний кут

За рахунок електростатичного притягання атома Гідрогену однієї молекули води до атома Оксигену іншої молекули між молекулами води виникають **водневі зв'язки**.

Розглянуті особливості структури і фізико-хімічні властивості води (здатність води бути універсальним розчинником, змінна густина, висока теплоємність, великий поверхневий натяг, текучість, капілярність тощо), зумовлюють її біологічне значення.

Які функції виконує вода в організмі. Вода — це розчинник. Полярна будова молекули води пояснює її властивості як розчинника. Молекули води вступають у взаємодію з хімічними речовинами, елементи яких мають електростатичні зв'язки, і розкладають їх на аніони й катіони, що зумовлює перебіг хімічних реакцій. Як відомо, багато хімічних реакцій відбувається лише у водному розчині. При цьому сама вода залишається інертною, тому може використовуватися в організмі неодноразово. Вода слугує середовищем для транспортування різних речовин усередині організму. Крім того, кінцеві продукти обміну речовин виводяться з організму переважно в розчиненому вигляді.

У живих істотах існує два головних типи розчинів. (*Пригадайте класифікацію розчинів.*)

Так званий **істинний розчин**, коли молекули розчинника співпадають за розмірами з молекулами розчинної речовини, яку вони розчинюють. В результаті відбувається дисоціація й утворюються йони. В цьому випадку розчин є гомогенним і, висловлюючись науковою мовою, складається з однієї — рідкої фази. Типовими прикладами слугують розчини мінеральних солей, кислот чи лугів. Оскільки в таких розчинах є заряджені частинки, то вони здатні проводити електричний струм і є електролітами, як і всі розчини, що зустрічаються в організмі, в тому числі кров хребетних тварин, де міститься багато мінеральних солей.

Колоїдний розчин — це той випадок, коли молекули розчинника значно менші за розмірами від молекул

розчиненої речовини. У таких розчинах частки речовини, які називаються колоїдними, вільно рухаються у товщі води, оскільки сила їх тяжіння не перевищує силу їх зв'язків з молекулами розчинника. Такий розчин вважається гетерогенним, тобто таким, що складається з двох фаз — рідкої і твердої. Всі біологічні рідини є сумішами, до складу яких входять істинні та колоїдні розчини, оскільки в них містяться як мінеральні солі, так і величезні молекули (наприклад білків), які мають властивості колоїдних часток. Тому цитоплазма будь-якої клітини, кров чи лімфа тварин, молоко ссавців одночасно містять йони і колоїдні частки.

Як ви напевно пам'ятаєте, біологічні системи підкоряються усім законам фізики і хімії, тому в біологічних розчинах спостерігаються фізичні явища, які відіграють значну роль в життєдіяльності організмів.

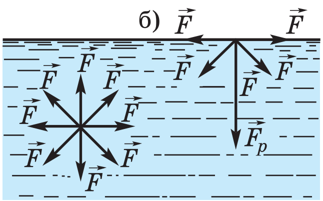
Дифузія (від лат. *діфузіо* — розповсюдження, розтікання, розсіювання) у біологічних розчинах проявляє себе як тенденція до вирівнювання концентрації структурних часток розчинених речовин (йонів і колоїдних часток), що в кінцевому результаті приводить до рівномірного розподілу речовини в розчині. Саме завдяки дифузії відбувається живлення багатьох одноклітинних істот, транспортування кисню і поживних речовин по тілу тварин за відсутності в них кровоносної та дихальної систем (*пригадайте, що це за тварини*). Крім того, транспортування багатьох речовин до клітин здійснюється саме завдяки дифузії.

Ще одне фізичне явище — **осмос** (від грец. *осмос* — поштовх, тиск) — переміщення розчинника через напівпроникну мембрану. Осмос викликає переміщення води з розчину, що має низьку концентрацію розчинених речовин і високий вміст H_2O, у розчині з високою концентрацією розчинених речовин і низьким вмістом води. У біологічних системах це ніщо інше, як транспортування води на рівні клітини. Саме тому осмос відіграє значну роль в багатьох біологічних процесах. Сила осмосу забезпечує рух води у рослинному и тваринному організмах, завдяки чому їх клітини отримують поживні речовини та підтримують сталу форму. При цьому слід зазначити, що чим більшою є різниця в концентрації речовини, тим більший осмотичний тиск. Тому якщо клітини помістити в гіпотонічний розчин, вони за рахунок різкого надходження води набухнуть і розірвуться.

Вода — це хімічно активна речовина, яка вступає в реакцію **гідролізу** (від грец. *гідро* — вода і *лізіс* — розпад). Ця реакція є основою багатьох процесів, що відбуваються в живих організмах, і насамперед за її участю проходить розкладання величезних біологічних молекул.

Молекули води є також безпосередніми складовими реакцій біологічного синтезу, зокрема утворення органічних речовин в результаті фотосинтезу.

Вода — найважливіша терморегулююча речовина організму, що зумовлено її надзвичайно високою **теплоємністю** — здатністю поглинати тепло. Це пояснюється тим, що частина теплової енергії витрачається на руйнування водневих зв'язків — подолання сил зчеплення між молекулами води, що запобігає перегріванню організму. Завдяки високій теплоємності води біохімічні реакції в клітинах відбуваються в сталому діапазоні температур.



Мал. 88.
Сили притягання, що діють на молекули рідини: *а* — в середині; *б* — на поверхні рідини

Вода має високу **теплопровідність** і швидко передає тепло від однієї частини тіла до іншої, таким чином запобігаючи перегріванню органа, який найбільш активно функціонує.

Вода має велику теплоту випаровування; саме ця її особливість використовується при терморегуляції у тварин (потовиділення ссавців) і рослин (охолоджування листків).

Підраховано, що тільки внаслідок величезної теплоємності води температура тіла футболіста під час гри не підвищується до +110 °С.

У води велика теплота плавлення. Це перешкоджає утворенню кристалів льоду в клітинах при зниженні температури. (*Тепер вам зрозуміло, чому рослини або комахи в стані діапаузи здатні переносити значні морози.*)

Вода діє як мастильна рідина в тих частинах тіла, де поверхня одного органа треться об поверхню іншого, особливо в суглобах.

Вода є опорою організму не тільки рослин, а й деяких тварин. (*Пригадайте, як в'януть квіти, якщо їх не поливати, і що таке гідроскелет червів.*)

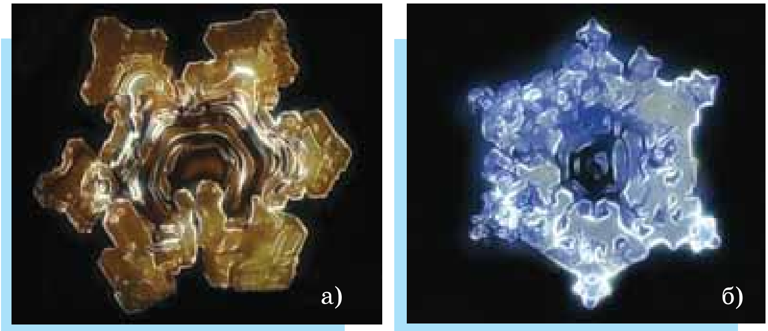


Мал. 89.
Клоп-*водомірка* на поверхні води

Воді властивий сильний **поверхневий натяг**. Як вам відомо з фізики, на межі з газом рідина утворює вільну поверхню. На молекули рідини діють сили притягання сусідніх молекул (*мал. 88*) (*Користуючись малюнком, визначте, чому дорівнює рівнодійна сил, що діють на молекулу всередині рідини.*) Завдяки наявності поверхневого натягу по поверхні водойм можуть рухатися тварини (*мал. 89*).

Чимало властивостей води в живому організмі досі досконало не вивчено. Виявляється, молекули води надзвичайно чутливі до електромагнітних і акустичних (*мал. 90 а, б*) полів і, на думку вчених, є своєрідним органом чуття у багатьох живих істот.

Що таке водний баланс організму. Зазвичай потреба у воді дорослої людини, що живе в нежаркому кліматі, становить не менше 2,5–3 л на добу (в тропічному кліматі потреба зростає більш ніж у два рази). Приблиз-



Мал. 90.
Наочна ілюстрація акустичної властивості води: так кристали води «реагують» на музику:
а — Моцарт «Симфонія № 40»; *б* — Бетховен «Сифонія № 6»

но половина цього об'єму надходить з різноманітними напоями і ще близько половини — з їжею, а також утворюється внаслідок розпаду органічних речовин (таку воду інколи називають «метаболічною»). В середньому за добу близько 1,4 л води людина виділяє із сечею і приблизно 1 л випаровується з поверхні тіла, а також із легенів. Таким чином підтримується **водний баланс організму** — рівновага між кількістю води, що надходить до організму, і тією, що виділяється.

При цьому слід врахувати, що потреба у воді залежить від життєвої активності, живлення, фізичного навантаження, здоров'я, віку, клімату і навіть погоди.

Далеко не все, що називають у побуті водою, безпечно для здоров'я людини. Так, наприклад, зовсім не підходить водопровідна, оброблена хлором вода, що містить шкідливі йони, і в якій трапляються хвороботворні організми і шкідливі речовини. Кращою для пиття вважається вода з природних джерел, яка містить збалансований комплекс різних іонів, має потрібний для організму поверхневий натяг і насиченість киснем.

Дефіцит води в організмі — **хронічне зневоднення** — одна з причин багатьох захворювань (астми, алергії, підвищеного артеріального тиску, надлишкової ваги і навіть психічних розладів, наприклад депресії). Зазвичай люди не відчувають того, що їх організм зазнає дефіциту води.

Виявляється, що більшість людей щодоби випиває менше рідини, ніж необхідно для здорового життя. А свої недуги ніяк не пов'язують із нестачею води — головного розчинника, без якого неможливе життя.

Із вищезазначеного випливає, що питна вода найближчим часом стане важливим природним ресурсом, який визначатиме здоров'я нації. Тоді як вже зараз в Україні це один з найдефіцитніших природних ресурсів. Через фізико-географічні особливості території і внаслідок

створення величезного числа гребель, що загородили річки і призвели до їх забруднення, Україна перетворилася на країну з постійним дефіцитом питної води. Щороку на кожного жителя нашої країни припадає до 1 тис. м³ прісної води на рік. Тоді як за оцінками ООН достатньою вважається величина на порядок більша — 10–15 тис. м³.

Ще трохи цікавої і важливої інформації. При втраті води на 2 % від маси тіла з'являється спрага, на 6–8 % — настає напівнепритомність, при браку в об'ємі 10 % з'являються галюцинації, а при дефіциті у 12 % людина гине.

Паління призводить до зневоднення організму.

Вживання кави й алкоголю також призводить до зневоднення. На кожну випиту чашку кави або порцію алкоголю треба випити додатково склянку води.

Якщо спортсмен п'є більше води, ніж вимагає відчуття спраги, то його витривалість різко підвищується.

Ті, хто п'ють води і напоїв більше, виявляють і більше витримки, а ще такі люди схильні до творчості.

Багато з тих, хто хоче схуднути, вважає, що їх організм утримує воду, і намагаються пити якомога менше. Проте вода є природним сечогінним засобом, і тому при схудненні слід пити більше води.

У подорожі людина нерідко стикається з проблемами травлення і втомою, які важко пояснити. Виявляється, їх причиною є лише зміна води. Річ у тому, що організм «запам'ятовує» певний баланс речовин у воді, яку споживає щодня, і реагує на зміни цього складу.

Особливе значення в організмі має вода — наймасовіша сполука клітини і найпоширеніша речовина на планеті Земля. Вона має невеликі за розмірами полярні молекули і напівкристалічну структуру. Це єдина речовина, яка може перебувати у трьох агрегатних станах. Вода є сильним розчинником і хімічно активною речовиною. Вона забезпечує теплорегуляцію організму, транспортування речовин в організмі, рух крові капілярами у тварин і води провідними судинами у рослин.

Там, де є життя, завжди є вода. Життя без води неможливе.

Перевірте себе

1. У чому полягають особливості молекулярної структури води?
2. Назвіть основні функції води в організмі.
3. Яке біологічне значення мають дифузія й осмос?
4. До якого типу розчинів відносять біологічні рідини?
5. З чого складається водний баланс організму людини?

Як ви вважаєте?

1. Чому вміст H_2O в клітинах головного мозку людини становить 85 %, тоді як у жировій тканині — 10–12 %?
2. Поміркуйте, які ще не відкриті вченими біологічні можливості обумовлює напівкристалічна структура води.
3. Відомо, що мінімальний баланс води людини складає 1,5 л на добу, однак при такому режимі неодмінно виникають розлади в роботі організму людини. Чому?

§15. МІНЕРАЛЬНІ СОЛІ ТА ЙОНИ В ЖИВОМУ ОРГАНІЗМІ

Терміни та поняття: буферність, тироксин, явище йонної асиметрії живого.

Які мінеральні речовини та йони входять до складу живого. На солі неорганічних кислот, які ще називають мінеральними, припадає не більш як 1,5 % маси клітини. Проте, незважаючи на такий, на перший погляд, незначний вміст, без цих речовин життя так само неможливе, як і без найпоширенішої речовини клітини — води.

Докази потреби тварин у мінеральних солях були отримані дослідним шляхом, коли лабораторним тваринам давали їжу без жодних солей. З'ясувалося, таке живлення неминуче призводить до загибелі.

У живому організмі мінеральні солі перебувають у розчиненому і твердому станах.

Розчинні у воді солі містяться у вигляді йонів: катіонів — позитивно заряджених йонів металічних елементів (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+} та інших) і Гідрогену (H^+), а також аніонів, основними серед яких є гідроксид-іон (OH^-) і залишки різноманітних кислот (Cl^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, NO_3^-, CO_3^{2-} та інші). Між аніонами та катіонами обов'язково існує відповідна рівновага — баланс, порушення якого призводить до функціональних розладів у клітині. При цьому велике значення має також концентрація мінеральних речовин, від якої залежить осмотичний тиск, і хімічні властивості цитоплазми — рідкого вмісту клітини.

Формально в клітині представлені всі класи неорганічних сполук. Однак оскільки всі вони знаходяться у вигляді йонів, то важко відповісти, яке саме в цитоплазмі клітин співвідношення між солями, кислотами й основами. Базуючись на тому, що значення pH клітини є близьким до 7, тобто нейтрального середовища, все ж таки можна констатувати, що між сильними кислотами й основами є певна рівновага.

Яку функцію в клітинах виконують катіони і аніони. Ключову роль у життєдіяльності організмів відіграє зовсім незначна їх кількість. Це головним чином іони металів.

Катіони K^+, Na^+, Ca^{2+} забезпечують універсальну властивість живої матерії — подразливість, підтримують осмотичний тиск у клітині; у тварин вони беруть участь у передачі нервових імпульсів. Крім того, K^+ і Na^+ беруть участь у спеціальному механізмі транспортування різноманітних сполук у клітину і їх виведенні за її межі. Переважно йони Na^+ знаходяться за межами клітини, а K^+ — в середині клітини. Йони Ca^{2+} зумовлюють м'язові скорочення.

Катіон Mg^{2+} входить до складу молекули хлорофілу, міститься в кістках і зубах, активізує хімічні реакції, що протікають в клітинах всіх без винятку істот, а Fe^{2+} входить до складу гемоглобіну, міоглобіну, дихальних пігментів.

Особлива функція катіону NH_4^+, який бере участь в підтриманні сталого pH у клітині. Він є також важливим компонентом синтезу білків, але його надлишок, викликаний порушенням обміну речовин, може призводити до значних функціональних розладів.

Важливу роль в організмах різних видів живих істот відіграють аніони ортофосфатної кислоти $H_2PO_4^-$ і HPO_4^{2-}, які зумовлюють **буферність** (від англ. *баф* — пом'якшувати поштовхи) клітини — здатність підтримувати внутрішньоклітинне середовище на рівні сталого значення pH 6,9, яке властиве вмісту більшості клітин людини. Тоді як аніони карбонатної кислоти HCO_3^- підтримують стале pH на рівні 7,4 за межами клітини. Аніони HSO_4^- взаємодіють з малорозчинними сполуками і таким чином позбавляють організм різних шлаків. Аніон Cl^- є компонентом шлункового соку тварин, а аніон I^- входить до складу гормону **тироксину**. (*Пригадайте, якою залозою виробляється цей гормон.*)

Де зустрічаються нерозчинні мінеральні сполуки. Особливого значення набувають нерозчинні у воді мінеральні солі — невід'ємний компонент усіх опорних структур тварин. При цьому ключовою речовиною є кальцій ортофосфат $Ca_3(PO_4)_2$ — складова міжклітинного «цементу», що забезпечує з'єднання клітин у тканини. Крім того, він неодмінно міститься у скелеті, зокрема в кістках хребетних тварин або в черепашці молюсків.

Явище йонної асиметрії живого. В сучасній біології вважається цілком доведеним, що всім живим організмам властиве явище йонної асиметрії. Воно полягає в нерівномірному розподілі йонів одного і того ж заряду як усередині, так і за межами клітини. Типовим прикла-

дом є різниця в концентрації йонів Na^+ і K^+ в клітині і за її межами. Експериментально доведено, що в м'язових волокнах, клітинах серця, нирок і печінки людини спостерігається більш висока концентрація йонів K^+ у порівнянні з міжклітинним простором, тоді як концентрація йонів Na^+ за межами клітини навпаки вища. Перерозподіл іонів в клітині та навколоклітинному просторі приводить до виникнення різниці електричних потенціалів на мембрані — трансмембранний потенціал. Асиметричний розподіл іонів з обох боків мембрани відіграє роль додаткового «депо» енергії й забезпечує енергетичну стійкість метаболізму. Це спонукало вчених до вивчення біологічних систем з урахуванням біоелектричних чинників.

! **Незважаючи на незначний вміст, мінеральні речовини та йони є важливими складовими кожного організму. Саме ці сполуки, що містяться в клітинах і поза їх межами у вигляді йонів, відповідальні за найважливіші функції — подразливість і швидкість обміну речовин — входять до складу багатьох важливих речовин. У тварин вони відповідальні за проведення нервового імпульсу і скорочення м'язових клітин, об'єднання клітин у тканині і міжклітинну взаємодію.**

Нерозчинні солі беруть участь в утворенні скелету, відповідальні за з'єднання клітин.

Перевірте себе

1. У якому вигляді в організмі присутні мінеральні солі?
2. Які функції в клітині виконують катіони K^+, Na^+, Ca^{2+}?
3. Що таке буферність?
4. Навіщо організму потрібні нерозчинні мінеральні солі?

Як ви вважаєте?

1. Чому катіони й аніони в організмі виконують зовсім різні функції?
2. Чому явище йонної асиметрії живого привертає пильну увагу вчених?
3. Чому існує асиметричність у концентрації таких близьких за хімічними властивостями йонів, як K^+ і Na^+ ?

§16. НЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ В НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЖИВИХ ІСТОТ

Терміни та поняття: хімічне забруднення навколишнього середовища, якість води, гранично допустима концентрація (ГДК), екологічні хвороби, ксенобіотики, акумулювання, кислотні дощі, квотування викидів.

Що таке хімічне забруднення природного середовища. У навколишньому середовищі, крім необхідних для організмів неорганічних речовин, трапляються різноманітні отруйні або чужорідні живим істотам речовини, які зазвичай знаходяться в такий мізерній концентрації, що не здатні заподіяти шкоди живому. Однак в наш час, коли забруднення довкілля стало нормою, а отруйних і чужорідних живим істотам сполук з кожним роком в природі накопичується все більше, ця проблема стає більш ніж актуальною. Зараз **хімічне забруднення природного середовища** набуває характеру глобальної загрози існуванню людства.

Яким чином отруйні речовини потрапляють усередину клітини? Рослини поглинають воду і розчинені в ній необхідні мінеральні солі з ґрунту. Разом з ними в клітину потрапляють речовини, які є для рослин, в кращому випадку, баластом, а в гіршому, включаючись в обмін речовин, — отрутою, яка з часом їх просто вбиває.

Хімічні елементи у формі нерозчинних у воді речовин можуть накопичуватися навіть у рослин, як це сталося з радіоактивним Йодом та Цезієм після аварії на Чорнобильській АЕС. Так само відбувається з Плюмбумом, який надходить в атмосферу з вихлопних труб автомобілів біля автомагістралей. І навіть якщо ці речовини не такі вже і згубні для рослин, то вони є небезпечними для споживанням іншими організмами.

Людина, як і будь-яка інша тварина, значну частину води і необхідні мінеральні речовини отримує разом з їжею — від тих самих рослин або інших тварин. А вода, якої бракує, і дефіцитні мінеральні солі в її організм надходять безпосередньо з довкілля. Тому якщо середовище забруднене, то разом з їжею та водою до організму неминуче потраплять непотрібні й токсичні речовини, які у міру накопичення здатні заподіяти все більшої шкоди. До того ж отруйні речовини можна отримати і пасивно, вдихаючи їх пари, і навіть просто через шкіру. Звідси стає зрозумілим, наскільки важливо для людини жити в незабрудненому природному середовищі, дихати чистим повітрям, пити джерельну воду і споживати екологічно чисту їжу.

Що таке якість води і гранично допустима концентрація. Очевидно, що для сучасної людини, особливо тієї, яка живе в забрудненому промисловими й автомобільними викидами мегаполісі, першочергового значення набуває якість середовища існування, зокрема **якість води** — фізичні і хімічні властивості, що визначають її придатність для використання як питної. Моніторинг більш ніж 50 параметрів, який постійно проводиться в Україні, показав, що за якістю водопровідної води наша країна посідає 85 місце у світі, це підтверджує й офіційна статистика Всесвітньої організації охорони здоров’я (ВООЗ).

Через вживання не дуже якісної води в Україні ризикує захворіти чверть населення, а кожен десятий вже страждає від серцево-судинних, шлункових, печінкових хвороб. Така ситуація не є специфікою лише України. За даними ВООЗ дефіцит якісної питної води — типова проблема більшості країн.

При оцінці якості води, їжі або чистоти повітря використовується такий показник, як **гранично допустима концентрація (ГДК)**, під якою розуміється така концентрація окремих елементів у довкіллі (їжі, воді, повітрі, одязі, іграшках, предметах гігієни, косметиці та ін.), яка не викличе захворювання або змін нормального функціонування людського організму впродовж усього його життя, а також у наступних поколінь. Наприклад, у нашій країні на вміст йонів важких металів у ґрунті встановлені такі ГДК: Плюмбум — 20 мг/кг, Меркурій — 2 мг/кг, Купрум — 3 мг/кг, Арсен — 2 мг/кг, Кобальт — 5 мг/кг.

Цей підхід, який був заснований на середніх значеннях забруднень і затверджений як санітарно-гігієнічна норма ще в 70-х роках минулого століття, зараз переглядається. Річ у тім, що показник ГДК не враховує індивідуальних особливостей організму. Це означає: те, що для однієї людини трохи гірше за норму, для іншої — хвороба, а може навіть і смерть. Крім того, шкідливі ефекти від впливу багатьох токсичних речовин визначаються за застарілими методиками. За їх допомогою не можна врахувати всього різноманіття впливу речовин, і вони не можуть відповісти на питання про вплив різноманітних речовин на здоров'я майбутнього потомства.

Є й такі хвороби — екологічні. Особливу групу захворювань, які назвали **екологічними хворобами** (*не плутати з ендемічними*), відкрили останнім часом. Викликаються вони чужорідними для організмів речовинами — **ксенобіотиками** (від грец. *ксенос* — чужий і *біос* — життя), серед яких особливо негативний вплив мають йони важких металів (Кадмій, Плюмбум, Меркурій та ін.) і деякі бінарні сполуки неметалів (сульфур(IV) оксид SO_2 і нітроген(IV) оксид NO_2).

Металічна ртуть та її пари, які належать до розряду надзвичайно *токсичних* хімічних речовин, є одними з найпоширеніших «металевих» забруднювачів довкілля. Особливо небезпечними є викиди у воду, оскільки в результаті діяльності мікроорганізмів, що населяють дно, відбувається утворення розчинної у воді дуже токсичної сполуки, яка викликає хворобу Мінамата. (*Зауважте! Якщо у вас вдома розбився ртутний термометр, слід ретельно зібрати на листок паперу всі кульки ртуті, а щілини й нерівності підлоги засипати порошком сірки. Сірка легко вступає в хімічну реакцію зі ртуттю, утворюючи нешкідливу сполуку HgS.*)

Кадмій, його сполуки і пари також належать до гострототоксичних речовин, які легко всмоктуються в кров,

вражають центральну нервову систему, печінку і нирки, порушують обмін речовин. Хронічне отруєння невеликими дозами (хвороба ітай-ітай) призводить до анемії і руйнування кісток. Симптоми гострого отруєння солями Кадмію супроводжуються раптовою блювотою і судомами.

Плюмбум і його сполуки теж дуже токсичні. Потрапляючи до організму людини, вони **акумулюються** (від латин. *аккумуляціо* — накопичення) в кістках, викликаючи їх руйнацію, а атоми цього елементу можуть накопичуватися в ниркових канальцях, спричинюючи порушення функції виділення. Сполуки Плюмбуму широко використовують у виробництві барвників, фарб, отрутохімікатів, скляних виробів, а також як добавки до бензину для підвищення октанового числа, а тому отруєння цим елементом трапляються найчастіше. Через те що автомобільні викиди містять сполуки Плюмбуму, зараз вони просто вкрили всю земну поверхню, навіть дісталися Антарктиди, де ніколи не було автомобілів.

Мабуть найвідомішим в нашій країні спалахом екологічної хвороби став наприкінці 80-х рр. XX ст. випадок у м. Чернівцях, коли у зовні здорових дітей 2–3-річного віку почало раптово випадати волосся і за одну ніч вони просто облисіли. Причину цієї хвороби, яка має назву *інтоксикаційна аплеція*, встановили швидко — отруєння солями Талію — дуже небезпечного ксенобіотика. Проте до цього часу нез'ясовано, звідки цей хімічний елемент взявся в такій кількості. Слід сказати, що по всьому світу, і в Україні зокрема, досить часто трапляються спалахи невідомих медицині захворювань, викликаних дією на організм різного роду неприродних речовин.

Що таке кислотні дощі. Потужними забруднювачами довкілля є різноманітні оксиди Сульфуру і Нітрогену, які виділяються в атмосферу головним чином при спалюванні вугілля. Речовини небезпечні не лише тим, що можуть викликати алергії й астму, але і кислотними дощами. Вступаючи в реакцію з водою атмосфери (часто під впливом сонячного випромінювання), оксиди Сульфуру перетворюються на розчини кислот — сульфітної ($SO_2 + H_2O = H_2SO_3$), сульфатної ($SO_3 + H_2O = H_2SO_4$), а оксиди Нітрогену — нітритної та нітратної ($2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2$) кислот. Потім, разом зі снігом або дощем, вони випадають на землю. **Кислотні дощі** гублять ліси і сільськогосподарські культури, знищують життя у водоймах, підвищуючи їх кислотність до такого рівня, що в них гинуть рослини і тварини.

Квотування викидів, або напівзахід. Таким чином, у процесі виробництва і для отримання енергії в повітря і воду викидається величезна кількість відпрацьованих речовин (сажа, фосфор, чадний газ, оксиди Нітрогену і

Сульфуру, різні сполуки металічних елементів тощо), маса яких лише за рік на Землі становить мільйони тонн. З більшою частиною цих сполук живі істоти ніколи не стикалися, а тому вони не можуть їх утилізувати — використати для своєї потреби. Тоді як їх накопичення неминуче призводить до поступового руйнування природного середовища і є згубним для всього живого. Оскільки сучасна цивілізація не може обходитися без виробництва все нових автомобілів, літаків, танкерів, будівництва заводів, житлових мікрорайонів і просто котеджів, а перехід на екологічно безпечне отримання речовини й енергії до цього часу — не більше як проект майбутнього, то виникає необхідність **квотування відходів** виробництва, обмеження їх вільного викиду. Для цього кожній країні надається квота, відповідно до якої вона зможе забруднювати середовище на певну кількість тонн викидів на рік. Але і ця ідея, яка, звичайно, є лише напівзаходом, не знаходить реальної підтримки в урядах найбільш розвинених країн, оскільки в цьому разі має відбутися різке падіння виробництва.

Наявність чужорідних неорганічних речовин, або підвищена концентрація деяких навіть природних для організму сполук у навколишньому середовищі призводить до їх надмірного накопичення в клітинах і органах. Це неминуче викликає порушення життєдіяльності або призводить до захворювань, які отримали назву екологічних.

Для зменшення наслідків хімічного забруднення впроваджуються різноманітні профілактичні засоби, які б обмежували розповсюдження і застосування ксенобіотиків і стримували викиди різноманітних хімічних речовин у довкілля, розроблено нормативи їх граничнодопустимої концентрації.

Перевірте себе

1. У чому полягає сутність хімічного забруднення?
2. Що таке якість води і ГДК?
3. Чим екологічні захворювання відрізняються від ендемічних?
4. Для чого потрібне квотування викидів у атмосферу?

Як ви вважаєте?

1. Чи існує гранична межа концентрації отруйних для організму сполук, за якої організм здатен подолати негативний вплив без будь-яких ушкоджень?
2. Чому рано чи пізно накопичення навіть нейтральної для організму, однак чужорідної речовини призведе до розладів у його роботі?
3. Чому квотування викидів у атмосферу слід вважати лише напівзаходом?

Семінар 7. Аномальні властивості води

Найпростіша, найпоширеніша і водночас найбільш загадкова, дивна речовина на світі — вода. Змінна щільність, висока теплоємність і величезний поверхневий натяг води, її здатність до «пам'яті» й структурованості — все це аномальні властивості такої, здалося б, простої речовини, як H_2O.

Найцікавіше те, що життя існує завдяки аномальним властивостям води, які тривалий час не вдавалося пояснити з погляду законів фізики і хімії. Це пов'язано з тим, що між молекулами води існують водневі зв'язки. Тому в рідкому стані вода не просто мішанина молекул, а складна й динамічно мінлива мережа з водних кластерів. Кожний окремий кластер живе невеликий час, однак саме поведінка кластерів впливає на структуру і властивості води.

Вода має аномальні значення температури замерзання й кипіння, у порівнянні з іншими бінарними сполуками водню. Якщо порівняти температури плавлення близьких до води сполук: H_2S, H_2Te, H_2Se, то треба припустити, що температура плавлення H_2O має бути між –90 і –120 ˚С. Однак в дійсності вона становить 0 ˚С. Аналогічно й температура кипіння: для H_2S дорівнює –60,8 ˚С, для H_2Se –41,5 ˚С, H_2Te –18 ˚С. Зважаючи на це, вода мала б закипати не менш ніж при +70 ˚С, а вона кипить при +100 ˚С. Виходячи з того, що температура плавлення й кипіння води — аномальні властивості, можна зробити висновок, що в умовах нашої планети рідкий і твердий стани води також аномальні. Нормальним має бути лише газуватий стан.

Вам уже відомо, що тіла при нагріванні розширюються, а при охолодженні стискаються. Як це не парадоксально, але вода поводиться інакше. При охолодженні від +100 ˚С до –4 ˚С вода стискується, збільшуючи свою щільність. При температурі +4 ˚С має найбільшу щільність. Але при подальшому охолодженні до 0 ˚С вона починає розширюватися, а її щільність зменшується! При 0 ˚С (температурі замерзання води) вода переходить у твердий агрегатний стан. Момент переходу супроводжується різким збільшенням об'єму (приблизно на 10 %) і відповідним зменшенням щільності. Свідченням цього явища те, що лід плаває на поверхні води. Усі інші речовини (за винятком Вісмуту і Галію) тонуть у рідинах, що утворювалися при їхньому плавленні. Феноменальна змінна щільність води дозволяє рибі жити у водоймах, що замерзають: коли температура падає нижче –4 ˚С, більш холодна вода, як менш щільна, залишається на поверхні й замерзає, а під льодом зберігається плюсова температура.

Вода має аномально високу теплоємність у рідкому стані. Теплоємність води у два рази більша від теплоємності пари, а теплоємність пари дорівнює теплоємності... льоду. Теплоємність — це кількість тепла, необхідного для підвищення температури на 1 ˚С. При нагріванні від 0 ˚С до +35 ˚С теплоємність її не збільшується, а падає. При подальшому нагріванні від +35 ˚С до +100 ˚С знову починає рости. Температура тіла живих організмів збігається з найбільш низькими значеннями теплоємності води.

Переохолодження — здатність води охолоджуватися до температур, нижчих від температури її замерзання, залишаючись рідиною. Таку властивість має дуже чиста вода, вільна від різних домішок, які могли б послужити центрами кристалізації при її замерзанні.

Залежність температури замерзання води від тиску теж зовсім аномальна. З підвищенням тиску температура замерзання знижується; зниження становить приблизно 1 ˚С на кожні 130 атмосфер. В інших речовин, навпаки, з ростом тиску температура замерзання підвищується.

Вода має високий поверхневий натяг (лише ртуть має більший показник).

Вода має високу здатність до змочування — завдяки цьому можливе явище капілярності, тобто здатності рідини змінювати рівень у трубках, вузьких каналах довільної форми, пористих тілах.

Дивні властивості здобуває вода в нанотрубках, діаметр яких близький до $1 \cdot 10^{-9}$ м: різко збільшується її в'язкість і вода набуває здатності не замерзати при температурах, близьких до абсолютного нуля. Молекули води в нанотрубках при температурі –23 °С і тиску в 40 тис. атмосфер самостійно вибудовуються в спіральні «драбинки», у тому числі в подвійні спіралі, які дуже нагадують спіральну структуру ДНК.

Поверхня води має негативний електричний потенціал, обумовлений нагромадженням гідроксильних іонів OH^-. Позитивно заряджені йони гідроксонія H_3O^+ притягаються до негативно зарядженої поверхні води, формуючи подвійний електричний шар.

Гаряча вода замерзає швидше холодної — це парадоксальне явище називається ефектом Мемба. На сьогодні наука ще не дала йому пояснення.

При –120 °С з водою починають відбуватися дивні речі: вона стає тягучою, як патока, а при температурі нижче –135 °С перетворюється в «скляну» воду — тверду речовину, у якій відсутня кристалічна структура.

Ще одна гіпотетична властивість води викликає жваві дискусії в науковому світі — це «пам'ять» води. Одні вчені визнають її реальність, а інші висміюють цю ідею як псевдонаукову. Одним із підтверджень наявності у воді пам'яті є такий дослід: якщо до однієї частини розчину кислоти додати десять частин чистої води, а потім з отриманого розчину знову відібрати одну частину й розбавити десятьма частинами води, потім знову й знову повторювати такі дії, доки в отриманому розчині, згідно з усіма законами математики, фізики й хімії, не залишиться жодної молекули від вихідної кислоти, — отримана вода буде все одно поводитись як слабкий розчин кислоти.

Теми для рефератів, виступів і дискусій

1. Сучасна модель води (кластерна теорія).
2. Пам'ять води — чи можливо це?
3. Які аномальні властивості води мають біологічне значення?
4. Вода в організмі.

Джерела інформації

http://www.sunhome.ru/journal/119584
http://ruscience.newmail.ru/physics/aqua_1.html
http://ru.wikipedia.org/wiki/Вода
http://inf.by/chem/19/
http://www.istok-penza.ru/root/encyclopedia/water/properties
http://elementy.ru/news/430353
http://traditio.ru/wiki/Парадокс_Мпембы
http://ru.wikipedia.org/wiki/Память_воды#cite_ref-0
http://www.chakrachka.ru/chakr/elements/water/water-05.htm
http://agroportal.su/?p=779
http://24.ua/news/show/id/66024.htm

Лабораторна робота № 2

Виявлення сірководню у протухлому яйці

Мета: визначити наявність сірководню (гідроген сульфіду) у протухлому яйці з використанням якісної реакції на сульфід-іон S^{2-}

Обладнання, матеріали, речовини: протухле сире куряче яйце, скляний бюкс із притертою кришкою, смужка фільтрувального паперу, просочена розчином плюмбум(II) ацетату $Pb(CH_3COO)_2$, довгий гвіздок

Інструктивна картка

1. Зволожте фільтрувальний папірець з розчином плюмбум(II) ацетату і приклейте його на внутрішній бік кришки бюкса.
2. Помістіть яйце на дно бюкса. Проштрикніть шкаралупу яйця гвіздком і відразу накрийте бюкс кришкою.
3. Спостерігайте поступове почорніння фільтрувального папірця внаслідок утворення плюмбум(II) сульфіду.

Оформлення результатів роботи

Сформулюйте **висновок** з роботи, у якому:

- зазначте використаний у роботі метод розпізнавання речовин;
- укажіть, які речовини в складі білка є джерелом Сульфуру, запишіть їх назви і формули;
- поясніть причину утворення сірководню (гідроген сульфіду) в протухлому курячому яйці;
- висловіть судження про межі застосування використаного методу;
- запишіть рівняння проведеної реакції в молекулярній та йонній формах.

Лабораторна робота № 3

Якісні реакції на нітрати і нітрити

Мета: здійснити експеримент з якісного визначення нітратів і нітритів

Обладнання, матеріали, речовини: предметне скельце, піпетки, розчини натрій нітрату, натрій нітриту, ферум(II) сульфату, сульфатної кислоти (концентрованої), калій йодиду, крохмальний клейстер

Інструктивна картка

Якісне визначення нітрат-іонів

1. На предметне скельце нанесіть 2 краплі розчину натрій нітрату, додайте 3 краплі розчину ферум(II) сульфату та 1 краплю розчину концентрованої сульфатної кислоти.
2. Внаслідок утворення змішаної солі $[Fe(NO)]\ SO_4$ розчин набуває темно-коричневого забарвлення.

Якісне визначення нітрит-іонів

1. На предметне скельце нанесіть 4–5 крапель розчину калій йодиду, додайте 1–2 краплі розчину сульфатної кислоти і 5–6 крапель розчину калій нітриту. Спостерігайте, як розчин набуває бурого забарвлення внаслідок утворення йоду і перетворення NO у NO_2.
2. Додайте кілька крапель крохмального клейстеру і перемішайте суміш скляною паличкою. Суміш набуває інтенсивно синього забарвлення. Чому?

Оформлення результатів роботи

Запишіть рівняння проведених реакцій. Для окисно-відновних реакцій складіть електронний баланс і зробіть висновок про властивості (окиснювальні чи відновні) досліджуваних іонів.

Лабораторна робота № 4

Визначення карбонат-іону CO_3^{2-} у шкаралупі яйця

Мета: провести експериментальне визначення карбонат-іону в складі шкаралупи курячого яйця

Обладнання, матеріали, речовини: шкаралупа сирого яйця, хлоридна кислота (розбавлена), вапняна вода, шпатель, пробірка, пробка з газовідвідною трубкою, фарфорова ступка

Інструктивна картка

1. Шкаралупу сирого яйця розітріть у фарфоровій ступці.
2. Помістіть у пробірку на кінчику шпателя розтерту шкаралупу, долийте хлоридну кислоту об’ємом 2 мл.
3. Закрийте пробірку пробкою з газовідвідною трубкою, кінець якої опустіть у склянку з вапняною водою.
4. Спостерігайте виділення пухирців газу та помутніння вапняної води. Чому це відбувається? Про виділення якого газу свідчать спостережувані явища?

Оформлення результатів роботи

Зробіть **висновок**, у якому:

- укажіть методи, використані в роботі;
- зазначте, про що свідчать результати досліду;
- висловіть судження, які сполуки в складі шкаралупи яйця є джерелом карбонат-іонів.

Завдання

Запишіть рівняння реакції, що перебуває в основі проведеного якісного визначення аніону CO_3^{2-}.

Лабораторна робота № 5

Визначення якості води методами хімічного аналізу

Мета: опанувати методи хімічного аналізу води та визначити її якість за певними показниками

Обладнання, матеріали, речовини: проба води (об’єм 150–200 мл), колба, скляна паличка, штатив із пробірками, гумова пробка, конічна лійка, фільтрувальний папір, універсальний індикаторний папір зі шкалою, розчини амоній роданіду (ω = 20 %), хлоридної кислоти (0,05 н), нітратної кислоти (ω = 2 %), аргентум(I) нітрату (0,05 н), барій нітрату (насичений), калій перманганату (0,01 н, колір розчину слабко-рожевий), сульфатної кислоти (ω = 30 %)

Інструктивна картка

Визначення кислотності води

Довідка: кислотність води визначається концентрацією йонів Гідрогену H^+; використовується водневий показник pH.

1. Візьміть пінцетом смужку універсального індикаторного паперу й занурте його у пробу води на кілька секунд до появи забарвлення.
2. Порівняйте отримане забарвлення зі шкалою, що додається до індикаторного паперу.

Визначення мінерального складу води

Визначення сумарного вмісту іонів Fe^{2+} і Fe^{3+}

1. Налийте у пробірку 10 мл досліджуваної води, додайте 3 краплі розчину нітратної кислоти і розчин амоній роданіду об’ємом 1 мл.
2. Вміст пробірки перемішайте скляною паличкою. Спостерігайте за змінами у пробірці. Відсутність забарвлення свідчить про вміст іонів Феруму менше 0,05 мг/л. У разі появи забарвлення розчину, візуально визначте приблизну концентрацію йонів Феруму: дуже слабке жовтувато-рожеве забарвлення розчину свідчить про те, що приблизна концентрація йонів Феруму в досліджуваній пробі води становить 0,1 мг/л, слабке жовтувато-рожеве забарвлення — 0,25 мг/л, світле жовтувато-рожеве — 0,5 мг/л, жовтувато-рожеве — 1,0 мг/л.

Визначення концентрації сульфат-іонів

1. Налийте у пробірку воду об’ємом 2–3 мл, додайте 1–2 краплі розчину хлоридної кислоти та розчину барій нітрату об’ємом 1–1,5 мл.
2. Перемішайте вміст пробірки струшуванням і злегка нагрійте.
3. Приблизний вміст сульфат-іонів у досліджуваній пробі води визначте візуально за утвореними каламуттю чи осадом: швидка поява слабкої каламуті спостерігається при вмісті сульфат-іонів 10–100 мг/л, поява сильної каламуті — при 100–500 мг/л, швидке утворення осаду — при вмісті сульфат-іонів понад 500 мг/л.

Визначення концентрації хлорид-іонів

1. До проби води об’ємом 2–3 мл, додайте 3 краплі розчину аргентум(I) нітрату.
2. Приблизний вміст хлорид-іонів визначте візуально за утвореними каламуттю чи осадом: опалесценція чи слабка каламуть спостерігається при вмісті хлорид-іонів 1–10 мг/л, сильна каламуть — при 10–50 мг/л, пластівці — при 50–100 мг/л, білий осад — при вмісті хлорид-іонів понад 100 мг/л.

Визначення вмісту органічних речовин

Довідка: для визначення вмісту органічних речовин у воді користуються показником окиснюваності, що визначається вмістом кисню в 1 л води і вимірюється у міліграмах O_2/л. Визначення перманганатної окиснюваності ґрунтується на окисненні органічних речовин, що містяться в пробі води, калій перманганатом.

Хід визначення

1. Використовуючи конічну лійку і фільтрувальний папір, відфільтруйте 4–5 мл води у пробірку і додайте до неї розчин сульфатної кислоти об’ємом 0,5 мл і розчин калій перманганату об’ємом 1 мл.
2. Утворений розчин перемішайте і залиште на 15–20 хвилин.
3. Зміну забарвлення розчину співставте з наведеними даними (*стор. 97*) щодо візуального визначення показника окиснюваності і зробіть висновок про вміст органічних речовин у досліджуваній пробі води.

Зміна кольору розчину	*Показник окиснюваності, мг/л*
Яскраво-рожевий	1
Фіолетово-рожевий	2
Ледь фіолетово-рожевий	4
Блідо-фіолетово-рожевий	6
Блідо-рожевий	8
Рожево-жовтий	12
Жовтий	16 і більше

Оформлення результатів роботи

1. Запишіть, на чому ґрунтувалося проведене вами дослідження вмісту йонів Феруму, сульфат-іонів, хлорид-іонів і показника окиснюваності у пробі води.
2. Результати дослідження оформіть у вигляді зведеної таблиці.
3. Проаналізуйте отримані результати та встановіть відповідність фактичних показників якості досліджуваної води вимогам прийнятих в Україні нормативів (*табл. 4*).
4. Зробіть **висновок** щодо якості досліджуваної проби води за обраними показниками.

Таблиця 4. Порівняння хімічних показників та їх нормативів для питної води

Показник	Значення показника	
	ГДК	Результати дослідження
pH	6,5–8,5	
Fe^{2+} і Fe^{3+} (сумарно)	0,3 мг/л	
SO_4^{2-}	500 мг/л	
Cl^-	350 мг/л	
показник окиснюваності	5–7 мг O_2/л	

Тема 5. Біомолекулярний склад живого

§17. ОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ В КЛІТИНІ І НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Терміни та поняття: органічна речовина, вуглеводні, спирти, гідрофільні, гідрофобні й амфіфільні сполуки, біомолекули, ковалентний зв’язок, високомолекулярні сполуки, білки, нуклеїнові кислоти, цукри, вуглеводи, ліпіди, пестициди.

Що таке органічні речовини. У сучасній хімії **органічними речовинами** називають майже усі сполуки Карбону. (*Пригадайте, які сполуки Карбону належать до неорганічних.*) Назву «органічні» вони дістали тому, що спочатку вважалося: живі організми й тіла неживої природи побудовані з абсолютно різних сполук, тобто речовини, властиві живим організмам, можна отримати лише від живого, «від організму». І тільки коли з амоніаку NH_3 та вуглекислого газу CO_2 було синтезовано органічну

сполуку — сечовину (CH_4N_2O) (*пригадайте, який вчений уперше провів таку реакцію*), стало очевидним, що речовини, які входять до складу живих організмів, за своїм складом не відрізняються від хімічних сполук тіл неживої природи. Нині описано структуру понад 10 млн. органічних сполук, частину з них виділено з живих організмів, однак значно більшу кількість синтезовано в лабораторіях.

У чому ж полягають особливості будови органічних сполук?

- Основним типом хімічного зв'язку в молекулах органічних речовин є **ковалентний зв'язок**. Це найміцніший тип хімічного зв'язку. Він виникає внаслідок утворення спільних електронних пар атомів, що приводить до зв'язування різних атомів в одну молекулу. При цьому пара електронів одночасно належить сусіднім атомам. Особливо міцні зв'язки утворюються між атомами Оксигену, Карбону, Гідрогену і Нітрогену, які становлять, як ви пам'ятаєте, 98 % маси клітини. Річ у тім, що чим легші елементи, тим міцніші між ними ковалентні зв'язки, а згадані O, C, H і N є найлегшими з хімічних елементів, здатних утворювати такий тип зв'язків. Найпростішою органічною сполукою є метан. (*Пригадайте з курсу хімії, як утворюється цей зв'язок.*)
- Ланцюги зі зв'язаних ковалентними зв'язками атомів Карбону утворюють основу, «скелет» молекули.
- Крім невід'ємних для всіх органічних сполук елементів Карбону і Гідрогену, в них майже завжди наявний Оксиген, рідше — Нітроген. Крім того, до складу органічних сполук можуть входити Фосфор і значно рідше — Сульфур, а до деяких складних органічних сполук — ще і йони металів (Fe^{2+}, Cu^{2+}, Mg^{2+}). Іноді до складу органічних сполук входять залишки молекул неорганічних сполук, частіше за все — похідних ортофосфатної кислоти. (*З курсу хімії пригадайте інші особливості органічних речовин.*)

Письменники-фантасти у своїх романах часто згадують про альтернативне життя на далеких планетах, яке можливе завдяки силіцій-органічним сполукам. Справді, Силіцій має ті самі хімічні властивості, що й Карбон, і утворює в лабораторних умовах величезну кількість речовин, зокрема всім відомий силікон. Проте внаслідок того, що атом Силіцію у 2,5 раза важчий за атом Карбону, а його ковалентні зв'язки з іншими атомами слабкіші, він не може бути повноцінним конкурентом Карбону і формувати такі довгі, міцні й хімічно активні молекули, як Карбон.

Хімічна структура і властивості органічних сполук. Незважаючи на те, що понад 98 % складу органічних сполук складаються лише з чотирьох елементів, їх загальна кількість у сотні разів більша за число неор-

ганічних речовин, які утворюються значною кількістю хімічних елементів.

Найпростіші органічні сполуки складаються з атомів Карбону й Гідрогену і мають назву **вуглеводні**. Саме вони входять до складу природного газу і нафти. Оскільки молекули вуглеводнів неполярні, вони не розчиняються у воді і мають **гідрофобні** (від грец. *гідро* — вода і *фобос* — страх) властивості. Вуглеводні, молекули яких містять не більше 4 атомів Карбону, є газами, від 5 до 10 атомів Карбону — рідинами, а понад 10 — твердими речовинами (саме із цих високомолекулярних вуглеводнів виготовляють парафінові свічки). Вуглеводні, у карбонових ланцюгах яких між атомами Карбону існують одинарні зв'язки, називаються *насиченими*, а вуглеводні, що мають подвійні зв'язки між атомами Карбону в молекулах, — *ненасиченими*. (*Пригадайте з хімії структурні формули насичених і ненасичених вуглеводнів.*) Карбоновий ланцюг може мати лінійну форму або циклічну — утворювати кільце. Причому кільце з шести атомів Карбону, в яких є три подвійних зв'язки, називається бензольним кільцем. Воно є основою багатьох органічних речовин, які називаються дуже романтично — ароматичні сполуки. (*Здогадайтесь, чому в них така назва.*) Вони відіграють важливу роль в живих системах, зокрема їх похідні є компонентами деяких **амінокислот**. (*Пригадайте, що ви знаєте про ці речовини.*)

Найпростіші органічні сполуки, до складу яких входить Оксиген, називаються **спиртами**. Молекули спиртів полярні, їм притаманні властивості слабких кислот, вони розчиняються у воді й належать до **гідрофільних** (від грец. *гідро* — вода і *філео* — люблю) сполук. Спирти, які мають одну гідроксильну групу (^{-}OH), називаються одноатомними, якщо дві й більше — багатоатомними. Особливого значення в живих організмах набувають сполуки триатомного спирту — *гліцерину*. (*Пригадайте, до складу яких біологічно важливих органічних сполук входить гліцерин.*)

Цікаво, що триатомний спирт (гліцерин) для організму людини — речовина не лише нешкідлива, а й необхідна, тоді як двохатомний спирт (етиленгліколь) — отрута.

Якщо в молекулі органічної сполуки між атомом Оксигену й атомом Карбону є подвійний зв'язок, то ця речовина належить до альдегідів, кетонів, карбонових кислот або їх похідних. Наприклад, *глюкоза* і *фруктоза*, необхідні клітині, містять у складі молекул залишки альдегідів або кетонів відповідно.

Полярні властивості притаманні молекулам карбонових кислот. У цих сполуках міститься карбоксильна група ($^{-}COOH$). Карбонові кислоти відіграють важливу роль у метаболізмі, оскільки є проміжною ланкою багатьох

хімічних реакцій, карбонові кислоти з кількістю атомів Карбону в молекулі 15 і більше входять до складу жирів.

Спирти і карбонові кислоти здатні реагувати між собою з утворенням особливих груп органічних сполук — етерів та естерів, наприклад, діетиловий етер має формулу $C_2H_5 - O - C_2H_5$.

Органічні сполуки, молекули яких складаються з двох частин (залишків великих молекул), одна з яких гідрофобна, а друга гідрофільна, мають **амфіфільні** (від грец. *амфі* — з двох боків і *філео* — люблю) властивості. Саме до цієї групи органічних сполук належать органічні речовини, які становлять основу клітинної мембрани.

Таблиця 5. Хімічний склад клітини людини (середні показники)

Речовини	Вміст, %
Вода	85
Білки	10
Нуклеїнові кислоти	1,1
Ліпіди	1,2–2
Вуглеводи	0,2–0,4
Мінеральні солі	1–1,5

Що таке біомолекули. **Біомолекули** — це молекули органічних речовин, які мають біологічну активність. Як правило, біомолекули утворюються в живих організмах, проте сучасний розвиток науки відзначається активним синтезом цих речовин в лабораторних умовах. Навіть найпростіші спирти, альдегіди, кетони, карбонові кислоти й амінокислоти (структурна ланка білків) утворюються в об'єктах живої природи. Саме з цих невеликих молекул в клітинах синтезуються величезні за розміром молекули, які називають **високомолекулярними сполуками**, їх маса нараховує тисячі й мільйони атомних одиниць.

Найбільш прості органічні сполуки — вуглеводні, які містяться в земній корі, ніколи не бувають компонентами живого.

Чому біомолекули такі різноманітні. Всього виокремлюють чотири основні групи органічних сполук, що неодмінно входять до складу клітини будь-якого організму: **білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи** і **ліпіди**. Крім того, до складу клітини входить ще багато органічних сполук, які мають певну біологічну активність (*табл. 5*). Органічні речовини становлять близько 15 % від маси клітини.

Органічні речовини, що входять до складу живих організмів, дуже різноманітні за своєю будовою. Причина такого різноманіття на перший погляд проста: різна будова — різні функції. Це, безперечно, так. Зрозуміло, що за своєю будовою дуже відрізняються різні класи біологічно активних речовин. Крім того, в межах цих класів існують певні групи, види і різновиди білків, ліпідів, вуглеводів та інших речовин, які також спеціалізовані на виконанні певних функцій, що приводить до збільшення різноманіття біологічних молекул. При цьому правильним буде припущення, що чим більш розвинений організм, тим більше в ньому працює різноманітних речовин.

Однак існує ще один рівень різноманіття — різноманіття біомолекул, які виконують у різних організмах однакові функції, але, незважаючи на це, мають відмінності в структурі. Це стосується найбільших за розмірами молекул: білків та нуклеїнових кислот ДНК. При цьому це різно-

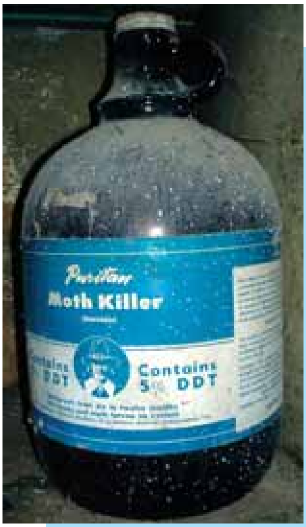
маніття настільки велике, що не піддається підрахунку. Вважається, що кожний організм, який виник внаслідок статевого розмноження, має свої і тільки свої унікальні молекули ДНК. Це означає, що скільки на планеті багатоклітинних істот, стільки ж молекул ДНК зі своєю особливою структурою. Крім того, кожний вид характеризується особливим складом білків. Це, у свою чергу, доводить, що на планеті існують мільйони різних білків. (*Скільки на Землі видів живих істот, які синтезують щонайменше сотні специфічних для даного виду білків?*) При цьому слід зазначити, що будова інших органічних молекул (жирів, вуглеводів, вітамінів тощо) досить стала, а в деяких випадках і універсальна для всіх груп рослин і тварин. У чому причини такого грандіозного різноманіття саме цих найбільших за розмірами біомолекул — білків та ДНК, причому остання (*зверніть на це увагу*) є носієм генетичної інформації, що реалізується через білки? Кожна особина унікальна за своїми ознаками і будовою, що є наслідком неповторності будови генетичного апарату, який, перш за все, складається з ДНК. Тому питання про причини різноманіття макромолекул — це не питання біохімії, а загальнобіологічна проблема **індивідуальної мінливості**. Дійсно, кожна особина, зокрема серед людей (за винятком однояйцевих близнюків), є за своїми ознаками і будовою унікальною особистістю, в тому числі і на біохімічному рівні. Кожен з нас має свій неповторний набір біохімічних речовин, кожен — єдиний у світі унікум.

Органічні речовини в середовищі існування. Навколишнє середовище містить величезну кількість органічних речовин природного походження: це, наприклад, рештки померлих тварин і рослин, що утворюють гумус або водяну органіку. Крім того, у воді, повітрі та ґрунті за останні п’ятдесят років накопичилося багато синтетичних органічних сполук. Ці речовини, хоча й винайдені людиною начебто для її ж користі, є чужорідними не тільки для людського організму, але й живої природи в цілому. Викликає занепокоєння, що з року в рік концентрація ксенобіотиків (*пригадайте, що саме так називаються речовини, чужорідні для живих організмів*) у довкіллі стає все більшою, а це, поряд зі зростаючим дефіцитом природних ресурсів, вже ставить під сумнів не тільки можливість існування сучасної цивілізації, але й взагалі живої природи в її теперішньому вигляді.

Загрозливого масштабу, наприклад, набуло накопичення фреону у верхніх шарах атмосфери. Фреони — це негорючі гази, які складаються з флуорпохідних метану та етану. Їх використовують в холодильних установках, кондиціонерах. Оскільки молекули цих речовин дуже інертні й легші за повітря, вони накопичуються у верхніх шарах атмосфери, що призводить, на думку

багатьох вчених, до потоншення шару озону. (*Пригадайте, склад молекули озону.*) Адже саме озон стримує потоки ультрафіолетового випромінювання, захищаючи живі організми від великих доз, які є шкідливими. Там, де шар цього газу стає дуже тонким, утворюються так звані «озонові діри». У таких місцях населення отримує з космосу додаткові дози опромінення, що призводить, як вважається, до різкого зростання випадків захворювання на рак шкіри.

Небезпеку для живого несуть й інші речовини, синтезовані людиною, все більша кількість яких акумулюється в навколишньому середовищі. Це стосується поліетилену та різного роду пластмас, що зберігаються в ґрунті чи воді тисячоліттями, не включаючись у природні цикли.



Мал. 91. Заводська упаковка 5 % розчину ДДТ, що вироблялась у 50-х роках XX ст.

Особливе занепокоєння викликають нафтопродукти, які щорічно тисячами тонн виливаються з танкерів у Світовий океан і на десятки років роблять акваторії в сотні квадратних кілометрів непридатними для життя.

Загрозу життю і здоров'ю не тільки нинішнього, але й майбутніх поколінь людей становлять різні отрутохімікати — **пестициди** (від лат. *пестіс* — зараза і *цидо* — вбиваю), синтезовані для знищення різноманітних комах-шкідників сільського господарства, патогенних грибків та бур'янів. Пестициди, як з'ясувалося, здатні вбивати не тільки комах, але й поволі отруювати організм самих винахідників. Тільки цей процес у людей, на відміну від комах, які вмирають миттєво, розтягується на десятки років, тому не такий помітний. Найбільш небезпечним наслідком використання отрутохімікатів є той факт, що ці речовини не лише негативно впливають на організми сучасників, але здатні згубно діяти на їх нащадків.

Автор ідеї застосування ДДТ (4, 4, дихлор-дифеніл-трихлоретан) (мал. 91), наймасовішого та найвідомішого пестициду, швейцарський хімік П. Мюллер у 1948 р. отримав Нобелівську премію з медицини. Минуло 30 років і стало зрозумілим, що ДДТ шкідливий не лише для комах, але й для людини. Зараз використання цього препарату заборонено.

Органічні речовини — це сполуки Карбону з іншими хімічними елементами. Органічні сполуки можуть бути гідрофільними — розчинними у воді та гідрофобними — нерозчинними. Обов'язковими компонентами будь-якої клітини є органічні сполуки чотирьох класів: білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи і ліпіди.

Серед відходів виробництва існує багато органічних сполук, що є чужорідними для живих істот, тому вони не засвоюються організмами, а накопичуються в навколишньому середовищі. Деякі з них, потрапляючи в організм людини, завдають шкоди не тільки її здоров'ю, але й майбутнім поколінням.

Перевірте себе

1. Чим органічні речовини відрізняються від неорганічних?
2. Що таке гідрофобні, гідрофільні й амфіфільні сполуки?
3. Які класи органічних речовин є неодмінною складовою клітин усіх живих організмів?
4. Чому є небезпечним викид фреону в атмосферу?
5. У чому полягає шкідливий вплив пестицидів на організм людини?

Як ви вважаєте?

1. На Землі силіційорганічні сполуки не входять до складу живого, однак вчені припускають їх присутність на інших планетах. На чому ґрунтується це припущення? Висловіть власне судження щодо можливості існування життя на інших планетах і умов, необхідних для цього.
2. Чому вуглеводні у значній кількості накопичилися в надрах Землі і при цьому не входять до складу живого?
3. Одні вчені вважають, що унікальність набору білків, властива кожному окремому виду, — це пристосування до особливих умов його існування, а інші, — що це наслідок перебудов, які відбуваються на молекулярному рівні організації при утворенні нового виду. Аргументуйте вашу думку з цього приводу.
4. Чому органічні сполуки, що містять Плюмбум, є більш небезпечними, ніж його випари?

§18. ЛІПІДИ: ЖИРИ І ЖИРОПОДІБНІ РЕЧОВИНИ

Терміни та поняття: ліпіди, жири (тригліцериди), олії, жироподібні речовини (ліпоїди), фосфоліпіди, гліколіпіди, воски, стероїди, холестерин, фітостероли.

Що таке ліпіди. До складу кожної клітини живого організму входять **ліпіди** (від грец. *ліпос* — жир), які за хімічною структурою є естерами жирних кислот і багатоатомних спиртів (*мал. 92*). Крім них, до цієї групи органічних речовин включають ще деякі сполуки, які характеризуються гідрофобними або амфіфільними властивостями. Ліпіди поділяють на *прості* і *складні*.

$$\begin{array}{l} CH_2-O-CO-R_1 \\ | \\ CH-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_3 \end{array}$$

Мал. 92.
Загальна формула *жирів*

Жири нерозчинні у воді, але добре розчиняються в деяких органічних розчинниках: ацетоні, етанолі, бензині, хлороформі тощо. Вони широко представлені у живій природі і відіграють надзвичайно важливу роль, тому містяться в усіх клітинах без винятку. При цьому в одних клітинах їх вміст не перевищує 5–15 % від сухої маси, а в інших досягає майже 90 %. (*Поясніть цей факт.*)

Арсенал методів дослідження жирів і ліпідів чималий і різноманітний. Це, перш за все, об'ємно-вагові й оптичні методи. Тільки одних способів кількісного і

якісного визначення холестерину в різних тканинах організму людини розроблено більше сотні. Особливе значення має метод тонкошарової хроматографії, який дозволяє розділяти суміші жирів.

Як побудовані прості жири і навіщо вони клітині. **Жири,** або **тригліцериди** — це естери трьохатомного спирту гліцерину з високомолекулярними жирними кислотами. До складу жирів входять лише три хімічні елементи: Карбон, Гідроген і Оксиген. Молекули жирів є неполярними і виявляють гідрофобні властивості. Усі карбонові кислоти, що утворюють жири, мають парну кількість атомів Карбону.

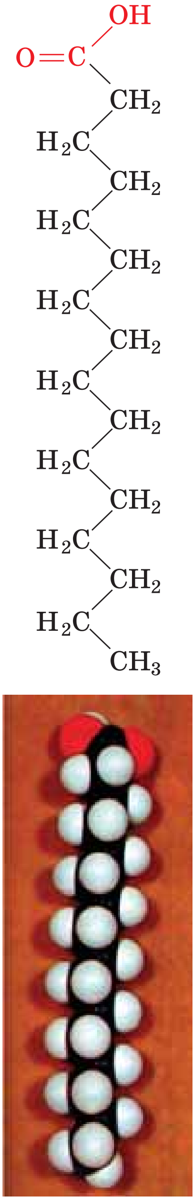
При цьому жирні кислоти поділяються на *насичені*, які не містять подвійних зв'язків у молекулі та *ненасичені*, які їх мають. До перших відносять *пальмітинову* (*мал. 93*) та стеаринову кислоти, до другої групи — *олеїнову* (*мал. 94*).

Властивості жирів визначаються якісним складом кислот та їх кількісним співвідношенням. Рослинні жири, або олії, багаті на залишки ненасичених жирних кислот, тому у більшості випадків вони легкоплавкі, тобто за кімнатної температури перебувають у рідкому стані. Так, наприклад, в оливковій олії гліцерин зв'язаний із залишками олеїнової кислоти. Тваринні жири містять головним чином залишки насичених кислот, тому вони тверді.

Із загальної формули жирів (*мал. 92, 95*) видно, що кожна його молекула, з одного боку, містить залишок гліцерину — речовини, яка добре розчиняється у воді, а з іншого — залишки жирних кислот, карбонові ланцюги яких є практично нерозчинними у воді (*мал. 93, 94, 96*).

Під час нанесення краплі жиру на поверхню води у бік останньої обернена гліцеринова частина молекул жиру, а з води «стирчать» ланцюжки жирних кислот. Це є причиною утворення плівки на поверхні води при потраплянні на неї жирів.

У складі тваринного жиру, зокрема в салі, є пальмітинова ($C_{15}H_{31}COOH$) і стеаринова ($C_{17}H_{35}COOH$) кислоти. Температура плавлення першої становить +43 °С, а дру-



Мал. 93.

Формула і об'ємна модель молекули насиченої *пальмітинової кислоти* (червоним кольором позначені атоми Оксигену)

$$\begin{array}{lcllcl} CH_2-OH & & R_1-COOH & & CH_2-O-CO-R_1 & \\ | & & & & | & \\ CH-OH & + & R_2-COOH & \rightarrow & CH-O-CO-R_2 & + 3H_2O. \\ | & & & & | & \\ CH_2-OH & & R_3-COOH & & CH_2-O-CO-R_3 & \end{array}$$

Мал. 95.

Загальне рівняння реакції утворення *тригліцериду*, який є основою будь-якого жиру (реакція гліцерину з одноосновною жирною кислотою)

гої +60 °С. Жири, що утворилися за участю багатоатомних кислот з подвійним зв'язком між атомами Карбону, мають за кімнатної температури рідку консистенцію і називаються **оліями**. Найпоширенішою у природі ненасиченою кислотою є олеїнова кислота ($C_{17}H_{33}COOH$), яка входить до складу рідких жирів рослин, риб та морських ссавців. Жири не розчинюються у воді, але при збовтуванні суміші жиру з водою здатні утворювати емульсії. (*Пригадайте з курсу хімії, що називають емульсіями.*) Типовою природною емульсією є молоко.

Жири насамперед виконують структурну функцію і є обов'язковим компонентом плазматичної мембрани й ядерної оболонки, входять до складу нервових волокон.

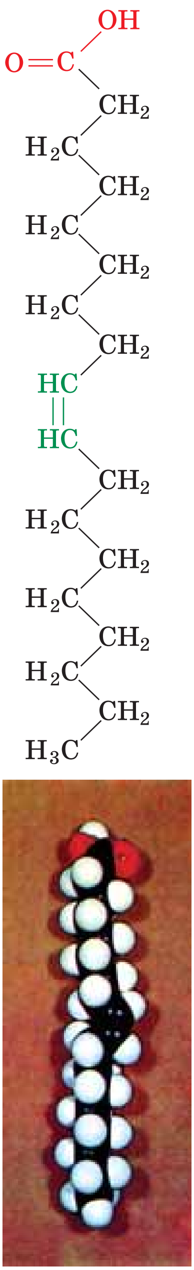
Ці речовини — важливе джерело енергії. Достатньо сказати, що понад половину енергії, яку поглинають клітини у стані спокою, становить енергія, яка виділяється при окисненні жирів. Високим вмістом жирів відрізняється молоко, тому всі ссавці вигодовують ним своїх дитинчат.

Жири — енергетичний резерв організму. Вони забезпечують 25–30 % енергії, необхідної організму. У процесі окиснення жирів до води й вуглекислого газу виділяється 38,9 кДж енергії, що набагато більше, ніж під час розщеплення будь-яких інших речовин клітини, зокрема удвічі більше порівняно з вуглеводами та білками. Завдяки тому, що жири — найбільш енергетично вигідні сполуки, вони є основними речовинами клітини, які можуть відкладатися про запас у чистому вигляді, тобто не утворюючи комплексів з іншими речовинами. Деякі науковці жартома називають їх «енергетичними консервами». Саме тому в рослин більш за все жирів міститься у плодах і насінні.

Жири містяться практично в усіх продуктах харчування: у молоці вони становлять 2–3 %, у пісному м'ясі — до 33 %, хлібі — 1–2 %, картоплі — 0,4 %. Вживання їжі без жиру призводить до порушення діяльності центральної нервової системи, ослаблення імунітету. (*Поясніть цей факт.*)

Фізіологи встановили, що під час фізичного навантаження, яке у 10 разів перевищує звичайне, людина, що дотримується жирової дієти, втрачає сили вже за 1,5 години. А за вуглеводної — за чотири. Це пов'язано з тим, що отримання організмом енергії з жирів — процес тривалий, оскільки вони мають малу реакційну здатність. Тому хоча вуглеводи і дають менше енергії, ніж жири, однак виділяють її набагато швидше.

Для порівняння: при спалюванні 1 г бензину виділяється 42 кДж, кам'яного вугілля — 31 кДж, а сухої деревини — 15 кДж. Отже, жир не випадково вважають висококалорійним «паливом». Це паливо витрачається переважно для підтримки



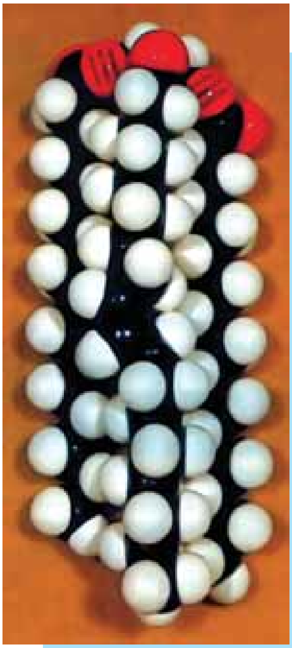
Мал. 94.

Формула і об'ємна модель молекули ненасиченої *олеїнової кислоти*

нормальної температури тіла, а також роботи м'язів. Навіть коли людина спить, їй на покриття енергетичних витрат щогодини потрібно близько 350 кДж енергії, що дорівнює потужності 100-ватної електричної лампи.

Жири погано проводять тепло. Тому, відкладаючись у теплокровних хребетних тварин у вигляді підшкірного жиру, вони виконують терморегулюючу функцію. Наприклад, у синього кита підшкірний шар жиру становить понад півметра.

У багатьох ссавців існує спеціальна жирова тканина, так званий «бурий жир» (*мал. 97*), яка виконує роль обігрівача. Ця тканина містить клітини з багатьма мітохондріями червоно-бурого кольору, що обумовлено наявністю Феруму в складі білків.



Мал. 96. Об'ємна модель молекули *тригліцериду*

Крім того, жири є мастильним матеріалом, який надає шкірі ссавців еластичності й захищає її від намокання й висихання. Не зайвим буде пригадати, що прошарок жиру захищає внутрішні органи від ударів та струсів, як-от навколониркова капсула або жирова подушка ока. (*Наведіть власні приклади.*)

Усі знають, що у верблюда, вага якого може досягати 120 кг, запаси жиру відкладаються у вигляді горбів на спині. Вчені пояснюють це тим, що за умови рівномірного розподілу великого об'єму жиру по всьому тілу організм у спеку перегріватиметься. Тоді постає питання: навіщо верблюдові потрібна така кількість жиру? Виявляється, жир — це джерело прісної води, адже під час окиснення 100 г жирів утворюється 101 мл води, яку і використовує організм. Ось чому верблюди можуть не пити багато днів за температури повітря +40 °С.

Що таке жироподібні речовини. **Жироподібні речовини**, які раніше називали **ліпоїди** (від грец. *ліпос* — жир і *оїд* — вид) — це сполуки, що, порівняно з жирами, мають більш різноманітні структуру і функції. До їх складу, крім багатоатомних спиртів і жирних кислот, входять інші сполуки. Ці речовини також нерозчинні або малорозчинні у воді.

Головне призначення ліпоїдів у будь-якій клітині — це їх структурна функція — участь у побудові клітинної мембрани. Крім того, вони відіграють важливу роль в передачі клітинного сигналу, а також у розпізнаванні клітинами одна одної.

Незамінними компонентами клітинних мембран рослинних та тваринних клітин є **фосфоліпіди**, яким властива амфіфільність. Одна частина молекул цих речовин, зв'язана з жирною кислотою, гідрофобна, а інша, зв'язана із залишком ортофосфатної кислоти, гідрофільна. Молекули фосфоліпідів розміщуються в клітинній мембрані у

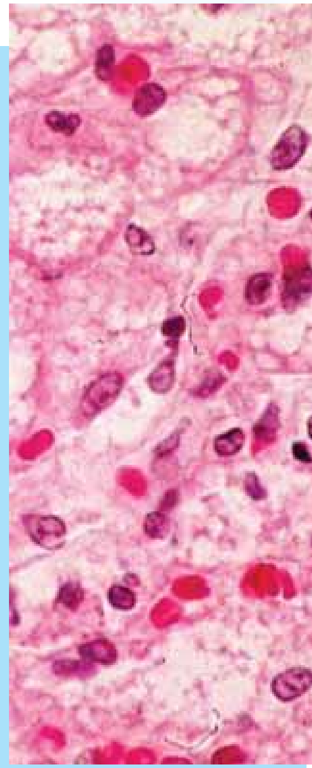
такий спосіб: поряд з гідрофільною частиною однієї молекули опиняється гідрофільна частина іншої, а поряд з гідрофобною — гідрофобна. Таке розташування зумовлює напівпроникність мембрани: одні речовини можуть пройти крізь неї, а інші — ні.

Гліколіпіди (від грец. *глікос* — солодкий і *ліпос* — жир) — представники ліпідів, молекули яких складаються із залишків молекул вуглеводів і жирів. Так само, як і фосфоліпіди, вони є амфіфільними і входять до складу клітинних мембран. Особливо багато їх у складі клітин мозку та нервових волокон.

Воски — це особлива група ліпідів, що, як і жири, складаються лише з трьох хімічних елементів (*пригадайте, з яких*). За хімічною структурою — це естери жирних кислот, але тільки з одноатомними, а не багатоатомними спиртами. Наприклад, бджолиний віск, який у бджіл і джмелів продукується у спеціальних залозах, — це сполука високомолекулярного мірицилового спирту ($C_{31}H_{63}OH$) і пальмітинової кислоти. Воски мають водовідштовхувальну властивість, тому у тварин вони вкривають тіло, а в рослин — поверхню листків та плодів.

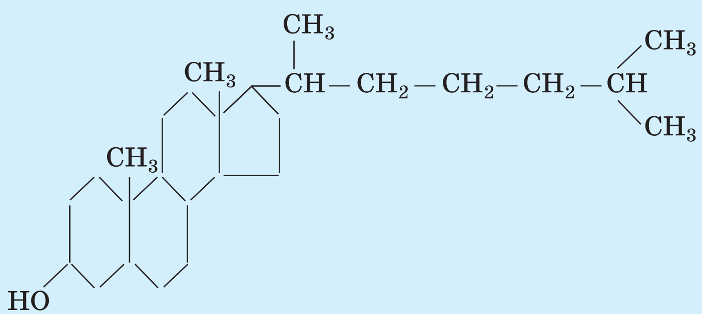
Окрему групу ліпідів утворюють **стероїди**, до складу яких не входять жирні кислоти, а їх основу становлять чотири циклічні сполуки Карбону. Найважливішим стероїдом організму тварин слід вважати **холестерин (холестирол)** (від грец. *холе* — жовч і *стереос* — твердий) (*мал. 98*). Це високомолекулярний спирт, який є складовою клітинних мембран і слугує основою синтезу вітаміну D, а також гормонів надниркової (кортизолу, кортизону, альдостерону) і статевих залоз (естрогенів, прогестерону, тестостерону). З них також утворюються жовчні кислоти. Близько 80 % холестерину виробляється в організмі, інший надходить з їжею.

Стероїди, що входять до складу клітинної мембрани рослин, називають **фітостиролами**. Вони широко використовуються в медицині, косметиці, а також як харчові добавки.



Мал. 97.

Так *бура жирова тканина* виглядає у мікроскоп



Мал. 98.

Структурна формула *холестерину*

Ліпіди — це гідрофобні або амфіфільні сполуки естерної природи. Основними групами ліпідів, що мають біологічне значення, є жири, воски, фосфоліпіди, стероїди. Жири виконують енергетичну функцію і можуть відкладатися «про запас» як найбільш енергоємні хімічні сполуки, а також — структурну (будівну), захисну, термоізоляційну функції. Жири є невід'ємними компонентами клітинних мембран. Стероїди — група ліпідів, найбільш відомий представник якої — холестерин — є основою ряду гормонів і вітамінів. У рослин стероїди входять до складу клітинної мембрани.

Перевірте себе

1. Чим жири відрізняються від жироподібних сполук?
2. Які функції жирів у клітині?
3. У яких організмів жири за кімнатної температури мають тверду консистенцію, а в яких — рідку?
4. Чому фосфоліпіди дістали таку назву і які їх фізичні властивості?
5. Яку будову мають молекули восків і в чому полягає їх функціональне призначення у тварин і рослин?

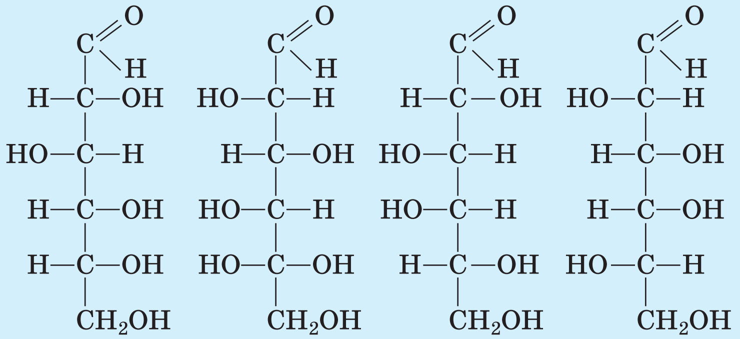
Як ви вважаєте?

1. Яку роль відіграли жири у появі клітин як структурно-функціональних одиниць усього живого?
2. Чому в риб і морських ссавців, на відміну від наземних хребетних, жири складаються з ненасичених кислот?
3. Чому птахи у першу чергу запасають жири?
4. Холестерин — це дуже важлива речовина, без якої неможливе життя людини. Тоді чому в сучасних дієтах намагаються використовувати їжу без холестерину?

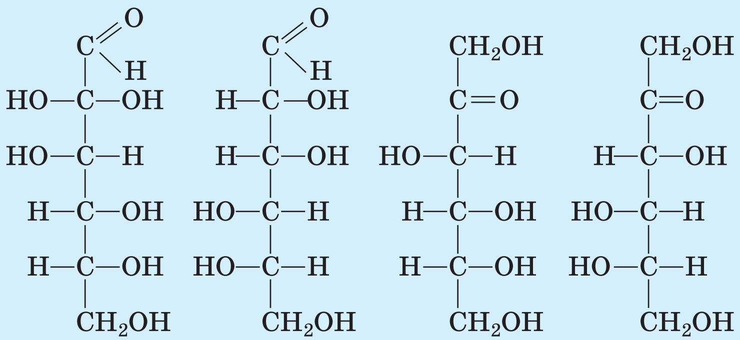
§19. ВУГЛЕВОДИ: РІЗНОМАНІТТЯ МОНОСАХАРИДІВ

Терміни та поняття: вуглеводи (сахариди), моносахариди, олігосахариди, полісахариди, структурна ізомерія, конформація, просторова та оптична ізомерії, рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза, маноза.

Особливості вуглеводів. **Вуглеводи** — це група органічних сполук, загальна формула яких $C_n(H_2O)$ (n може мати значення 3 і більше) відповідає співвідношенню: один атом Карбону — одна молекула води. (*Пригадайте походження назви цього класу органічних сполук.*) За своєю хімічною структурою вуглеводи — це альдегідо- або кетоноспирти. Крім трьох вищезгаданих елементів, до складу вуглеводів можуть входити ще три елементи (P, S, N).



D(+)-Глюкоза *L*(−)-Глюкоза *D*(+)-Галактоза *L*(−)-Галактоза



D(+)-Маноза *L*(−)-Маноза *D*(−)-Фруктоза *L*(+)-Фруктоза

Мал. 99.

Формули найбільш поширених в клітинах живих організмів D-*гексоз* та їх L-ізомерні форми

У різних організмах вміст вуглеводів різний. Так, у рослин і грибів вони становлять близько 90 % від сухої маси речовини, а у тварин — тільки 1–2 %. (*Спробуйте пояснити цей факт.*) Різноманітні вуглеводи — це обов'язкові компоненти усіх клітин. Їх значення багатогранне, однак головними є структурна та енергетична функції. Саме з різноманітних вуглеводів будуються клітинні оболонки. Вуглеводи — це універсальне і важливе джерело енергії в клітині. Внаслідок повного розщеплення 1 г вуглеводу виділяється 17,6 кДж. (*Порівняйте з енергетичною цінністю жирів.*)

Слід зазначити, що є вуглеводи, універсальні для всіх живих істот, а є специфічні для бактерій, тварин чи рослин або певних груп тварин чи рослин.

Вуглеводи поділяють на **моносахариди**, **олігосахариди** та **полісахариди**. Дві перші групи за їх фізичні властивості (зокрема солодкий смак) ще називають цукрами.

Моносахариди та їх ізомерія. Моносахариди називають також простими вуглеводами. До складу молекул мо-

носахаридів, так само як і до складу жирів, входять лише Карбон, Гідроген і Оксиген у співвідношенні 1С : 2Н : 1О. Основу моносахаридів (від грец. *монос* — один, єдиний; *сахар* — цукор і *еідос* — вигляд), які зустрічаються в живих організмах, складає ланцюг з трьох — семи атомів Карбону. До них приєднуються атоми Гідрогену і гідроксильні групи, а також подвійним зв'язком — один атом Оксигену. Якщо Оксиген приєднується до кінцевого атому Карбону і утворюється альдегідна група, то цей моносахарид відносять до *альдоз*, а якщо до одного із серединних атомів, то відповідно утворюється кетогрупа і такий сахарид є *кетозою*. Отже, моносахариди — це складні багатоатомні спирти, у яких один з атомів Карбону має подвійний зв'язок з атомом Оксигену. Моносахариди хімічно досить активні речовини, які мають сильні відновні властивості.

Молекулам моносахаридів властива полярність, вони розчиняються у воді. В сухому вигляді моносахариди є кристалами, мають солодкий смак.

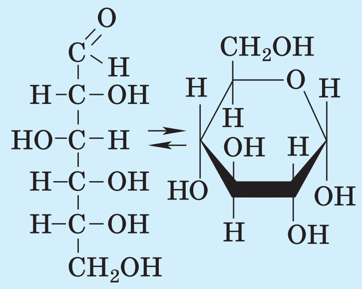
Залежно від кількості атомів Карбону в молекулі розрізняють такі моносахариди: *тріози* (3С), *тетрози* (4С), *пентози* (5С), *гексози* (6С) і *гептози* (7С). Найбільш численними в живих організмах є пентози та гексози (*мал. 99*). Тріози і тетрози є проміжними продуктами фотосинтезу.

Найпоширенішими в природі пентозами є **рибоза** і **дезоксирибоза**, які входять до складу нуклеїнових кислот. Тоді як значення гексоз більш різноманітне. Вони є ключовим джерелом енергії для всіх без винятку організмів, а також основою для синтезу більш складних молекул, які виконують захисні, запасаючі (слугують енергетичним резервом) чи структурні функції.

Всі гексози, що зустрічаються в живих організмах, є **структурними ізомерами** (грец. *ізос* — однаковий і *мерос* — частина), тобто мають одну молекулярну формулу $C_6H_{12}O_6$, однак відрізняються за своєю структурою і відповідно мають різні хімічні і фізичні властивості. Найбільш поширеними моносахаридами живих організмів є **глюкоза** і **фруктоза**. Елементний склад цих двох речовин однаковий, однак глюкоза — це альдоза, у неї подвійний зв'язок існує між Оксигеном та кінцевим атомом Карбону, а фруктоза — кетоза, у неї подвійний зв'язок між атомом Оксигену і некінцевим атомом Карбону. Крім того, в клітинах містяться й інші гексози, зокрема **галактоза** і **маноза**, які теж є альдозами, та від глюкози відрізняються розташуванням гідроксильних груп по різні боки карбонового ланцюга.

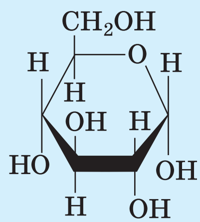
Глюкоза широко розповсюджена у природі, зокрема її багато у достиглих фруктах та ягодах. Фрукти стають солодшими під час дозрівання через те, що в них збільшується вміст глюкози, яка утворюється при розпаді (гідролізі) крохмалю.

Форма розташування одного і того ж структурного ізомеру в тривимірному просторі різноманітна і називається **конформацією** (з лат. *конформаціо* — розміщення). Тип конформації значною мірою визначає фізичні і хімічні властивості речовини і називається **просторовою ізомерією**, однією з форм якої є **оптична ізомерія**. Причиною оптичної ізомерії є наявність асиметричного атому Карбону, що відповідно приводить до асиметричної будови молекули в цілому. При цьому тріози мають два оптичних ізомери, тетрози — 4, пентози — 8 і гексози — 16. Оскільки асиметрія молекул має дзеркальну природу, то все це різноманіття розбивають на дві групи: правий і лівий ряди (*мал. 99*). Належність до того чи іншого ряду визначають наступним чином. Якщо атом Гідрогену, гідроксильна і оксиметильна групи, що пов'язані з передостаннім атомом Карбону, розташовані в просторі у вищевказаній послідовності, тобто за ходом годинникової стрілки, то їх відносять до правого ряду, а якщо орієнтовані проти ходу — до лівого. Така схема цілком відповідає реальному розташуванню молекули в тривимірному просторі. Моносахариди, які віднесено до правого ряду, позначаються великою літерою «D» (наприклад, D-глюкоза), а до лівого — літерою «L» (відповідно L-глюкоза). Слід зазначити, що до складу всіх живих істот входять тільки D-ізомери моносахаридів, тоді як L-ізомери в природі майже не зустрічаються. Досі невідомо, які саме біологічні чи хімічні переваги має одна ізомерна форма над іншою, тому вважається, що на етапі зародження життя серед первісних молекул сахаридів випадково склалась кількісна перевага D-ізомерів.

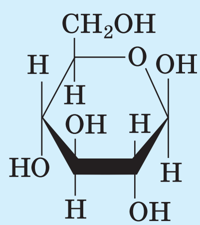


Мал. 100.
Перехід від ланцюгової до циклічної форми молекули *глюкози* (явище таутомерії)

Зазвичай у природі гексози мають форму плоского кільця, що складається з чотирьох або п'яти атомів Карбону, замкнених атомом Оксигену. У альдоз атом Оксигену з'єднує перший і п'ятий атоми, у кетоз — другий і п'ятий. Виняток становлять молекули у формі відкритого карбонового ланцюга, які трапляються значно рідше, ніж кільцеві. Звичайно ці дві форми перебувають у стані динамічної рівноваги. Явище, коли одна ізомерна форма легко переходить в іншу, називається **таутомерією** (*мал. 100*) (від грец. *таутос* — той самий і *мерос* — міра). Це стосується не тільки циклічної чи ланцюгової форм молекул. Як з'ясувалося, у водних розчинах деяка частина молекул альдоз переходить у кетози і навпаки.



а)



б)

Мал. 101.
Формули:
а — α-ізомеру;
б — β-ізомеру
D-глюкози

При утворені циклічної молекули виникає ще один асиметричний атом Карбону (*мал. 101*). Молекули, у яких гідроксильна група розташована над кільцем, називають α-ізомерами, а у тих, що під кільцем — β-ізомерами. Ці ізомери зустрічаються в клітинах живих

організмів і відіграють велику роль у збільшенні різноманіття біологічних речовин.

Які функції виконують гексози. **Глюкоза**, або *виноградний цукор* (назва пов'язана з тим, що найбільшим вміст глюкози є в ягодах винограду), відіграє ключову роль у метаболізмі тварин і рослин. Саме ця речовина утворюється в рослин унаслідок фотосинтезу і є первинним джерелом енергії в клітинах рослин і тварин. Глюкоза — найважливіший компонент крові людини. Недостатня її кількість у крові спричинює порушення діяльності м'язів та нервових клітин мозку, як наслідок — судоми, втрата свідомості і навіть смерть. Крім того, глюкоза — це вихідний продукт для утворення багатьох речовин і одна з головних речовин біологічного синтезу. Вона бере участь у регулюванні осмотичного тиску в клітинах різних органів та тканин, що забезпечує відносну сталість активних речовин.

Фруктоза (*мал. 99*) має ще інші назви — *фруктовий* або *плодовий цукор*, оскільки головним чином зустрічається в плодах. Відіграє значну роль в метаболізмі рослин і у вільному вигляді міститься в листі та плодах рослин. Може легко перетворюватися на глюкозу. Добре засвоюється організмом людини. Однак у крові міститься в дуже незначній кількості. Це найсолодший із моносахаридів, фруктоза в 2,5 раза солодша за глюкозу. Вона становить понад 50 % речовин у складі меду, її можна виявити у нектарі квітів, клітинному соку деяких рослин. Фруктоза, як і глюкоза, є компонентом більш складних сполук, необхідних для клітини.

Галактоза (*мал. 99*) є важливим компонентом молочного цукру лактози багатьох біологічно активних складних сполук та інших олігосахаридів і полісахаридів. У клітинах галактоза перетворюється на глюкозу.

Маноза (*мал. 99*) є теж складовою багатьох біологічно активних речовин. У вільному стані в дуже незначній кількості міститься в слині, крові і слизу кишечнику людини, де виконує певні функції. Серед рослин її дуже багато в шкірці апельсинів.

Вуглеводи — це багатоатомні альдегідоспирти, або кетоноспирти, які за складністю будови молекули поділяються на три групи. Моносахариди мають загальну формулу $C_n : H_{2n} : O_n$ і поділяються на кілька груп залежно від довжини карбонового ланцюга. Кожна з груп у свою чергу утворює різні типи ізомерів: структурні (глюкоза, фруктоза, галактоза, маноза), оптичні D-, L-ізомери, α-, β-ізомери. Крім того, зустрічається циклічна та ланцюгові лінійні форми.

Моносахариди є важливим джерелом енергії всіх організмів без винятку, а також компонентами більш складних біологічно активних молекул.

Перевірте себе

1. Які організми належать до вуглеводів?
2. Що являють собою вуглеводи як хімічні сполуки?
3. Назвіть типи ізомерії, притаманні моносахаридам.
4. Які функції виконують моносахариди?

Як ви вважаєте?

1. Чому моносахариди — гептози (молекули яких містять 7 атомів Карбону) — зустрічаються виключно серед бактерій?
2. Чому закрита кільцева форма молекули моносахариду є більш поширеною, ніж у вигляді ланцюга?
3. Чому в живих істот з моносахаридів зустрічаються тільки ізомери правого ряду?

§20. СКЛАДНІ ВУГЛЕВОДИ: ОЛІГО- І ПОЛІСАХАРИДИ

Терміни та поняття: олігосахариди, сахароза, мальтоза, лактоза, реакція конденсації, полісахариди, дисахариди, гомополісахариди, крохмаль, гідроліз, амілоза, амілопектин, глікоген , інулін, клітковина (целюлоза), гетерополісахариди, хітин, гепарин, камедь, пектини.

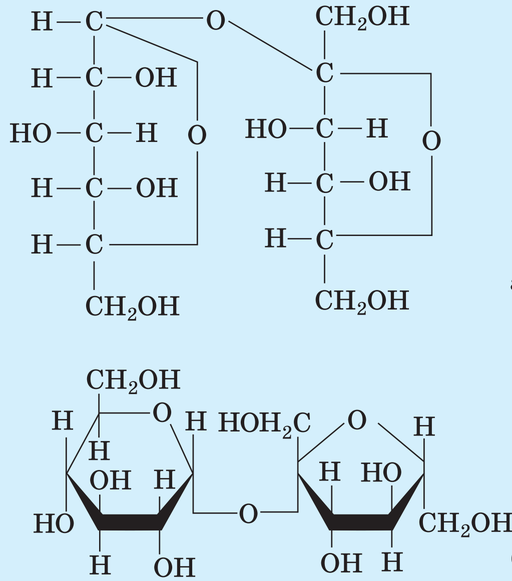
Які вуглеводи назвали складними. До категорії складних належать вуглеводи, утворені залишками двох і більше молекул простих вуглеводів. Загальна хімічна формула складних вуглеводів: $C_mH_{2n}O_n$, де $m > n$. Складні вуглеводи — це результат **реакції конденсації** (*пригадайте, що це за реакція*), коли моносахариди сполучаються один з одним, при цьому виділяється молекула води. Теоретично процес може відбуватися нескінченне число разів, у результаті чого утворюються величезні молекули, які складаються із залишків різноманітних моносахаридів. Саме таким чином утворюються ланцюги із залишків моносахаридів, які сполучаються за допомогою глікозидних зв'язків, що зазвичай виникають між 1-м і 4-м атомами Карбону сусідніх молекул:

$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 = C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$$

Складні вуглеводи поділяють на дві групи: **олігосахариди** (від грец. *олігос* — малий, незначний) і **полісахариди** (від грец. *поліс* — багато).

Олігосахариди складаються з незначної кількості залишків моносахаридів. Вони добре розчиняються у воді, у твердому стані — це кристали, які мають солодкий смак. Тому їх ще називають цукрами.

Найбільше значення мають **дисахариди**, тобто вуглеводи, що складаються з двох залишків моносахаридів, серед яких у природі найбільш поширені *сахароза*, *маль-*



Мал. 102.

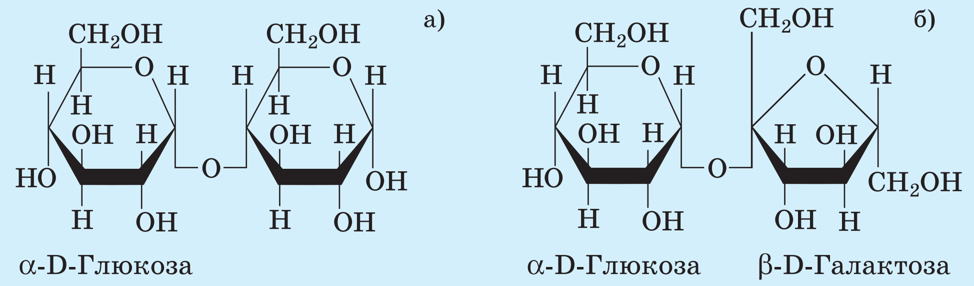
Формула *сахарози*:
а — циклічна форма; *б* — ланцюгова форма

тоза і *лактоза*. Це структурні ізомери, які мають молекулярну формулу $C_{12}H_{22}O_{11}$, однак вони характеризуються різними фізичними і хімічними властивостями і виконують зовсім різні функції.

Найвживанішим олігосахаридом є **сахароза** (тростинний або буряковий цукор), що складається із залишків α-D-глюкози і β-D-фруктози (*мал. 102*). У чистому вигляді сахароза міститься лише в рослинах, де виконує функцію транспортування молекул моносахаридів. Крім того, оскільки вона хімічно досить інертна, то відкладається про запас. (*Подумайте, в яких органах рослин відбувається запасання цієї речовини.*)

Рафінована (99,9 %) сахароза — одна з найбагатотоннажніших чистих органічних речовин, що виробляється промисловістю: понад 110 млн. тонн щорічно. Річний врожай цукрової тростини сягає 1 млрд. тонн та значно перевищує обсяги заготівлі будь-якої іншої сільськогосподарської культури. (*Поясніть цей факт.*)

Саме сахарозу використовують як стандарт при порівнянні різноманітних солодких речовин. Досвідчений дегустатор відчуває присутність сахарози у воді за малої концентрації — близько 10 ммоль/л, або 0,35 г/л. Цікаво, що бджоли у тисячі разів менш чутливі до цукру. Цей факт стає зрозумілим, якщо пригадати кількість цукрів у нектарі квітів — від 40



Мал. 103.

Формули *дисахаридів*: *а* — мальтози; *б* — лактози

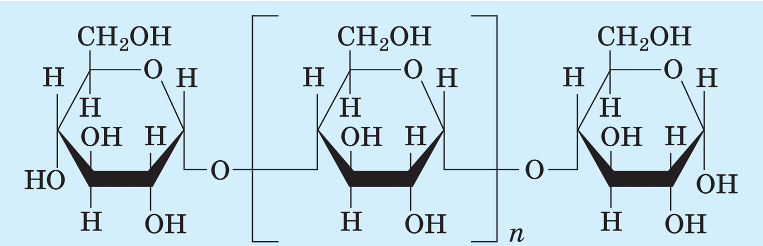
до 70 %, а отже бджоли просто не відволікаються на малопоживні продукти.

Крім сахарози, у тканинах рослин містяться й інші дисахариди, **мальтоза** (солодовий цукор), що складається з двох молекул α-D-глюкози (*мал. 103, а*). Мальтоза — основний структурний елемент крохмалю та глікогену.

У молоці ссавців у значній кількості міститься **лактоза**, до складу якої входять залишки молекул α-D-глюкози та β-D-галактози (*мал. 103, б*). Не слід думати, що цей дисахарид зустрічається лише в молоці ссавців. Це не так, його також знаходять в різних, на перший погляд, несподіваних і екзотичних місцях, таких, як наприклад пилкові трубки рослин.

Цікаво, що саме лактозу часто використовують у мікробіології для виготовлення поживних середовищ.

Різноманітність будови і функцій полісахаридів. Молекули вуглеводів, що складаються з сотень і тисяч залишків моносахаридів, виокремлюють в особливу групу вуглеводів — полісахариди, які належать до біологічних полімерів (біополімерів). (*Пригадайте, що таке мономер і полімер.*) Залишки моносахаридів у такій молекулі відіграють роль мономерів. Вони зібрані в один довгий, іноді розгалужений ланцюг. (*Зверніть на цю обставину особливу увагу: інші біополімери не мають ніяких розгалужень, а являють собою лінійні молекули.*) Молекулярна



Мал. 104.

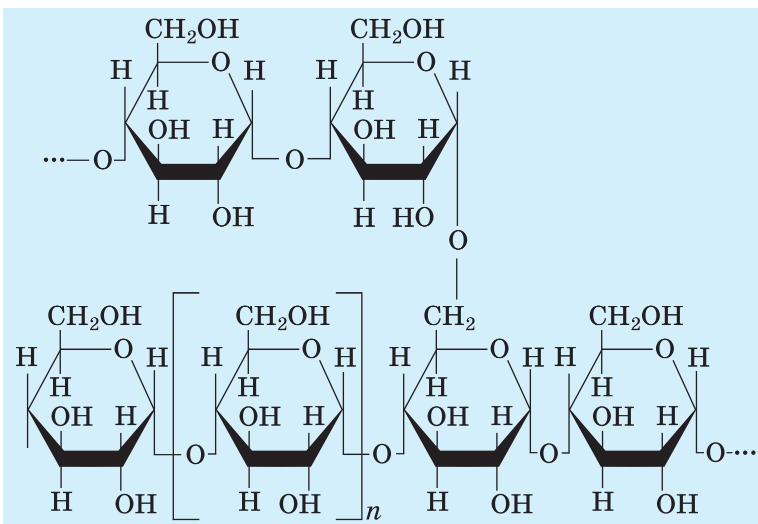
Формула мономерів *амілози* і зв’язки між ними

маса біополімерів, зокрема полісахаридів, може сягати сотень тисяч і навіть мільйонів дальтон. Тому їх ще називають *біологічними макромолекулами*.

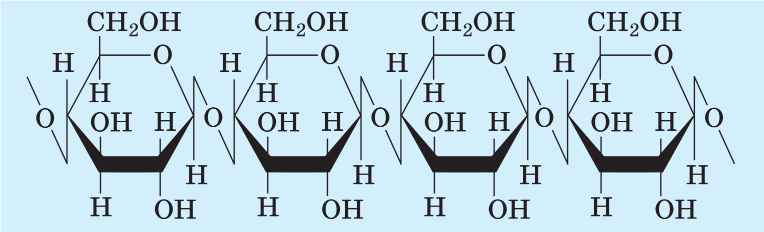
За своїми фізичними властивостями полісахариди — це речовини, які погано або зовсім не розчиняються у воді і не мають солодкого смаку. Полісахариди поділяють на дві групи: **гомополісахариди** (від грец. *гомо* — рівний) і **гетерополісахариди** (від грец. *гетерос* — різний).

Гомополісахариди мають загальну формулу $(C_6H_{10}O_5)n$. (*Пригадайте, що називають ступенем полімеризації.*) Мономерами їм слугують залишки одного і того самого моносахариду (глюкози, фруктози тощо). Вони є резервними і структурними речовинами клітини.

Крохмаль — головна резервна речовина рослинної клітини. Це з'єднані залишки α-D-глюкози. Природний крохмаль складається із залишків двох речовини: на 20 % з **амілози** (*мал. 104*) (від грец. *амілон* — крохмаль) і на 80 % з **амілопектину** (*мал. 105*) (від грец. *амілон* і *пектос* — желеподібний). Амілоза має чітку лінійну форму, а залишки глюкози сполучаються за допомогою 1,4-глікозидних зв'язків. Молекули амілопектину розгалужені, що викликано наявністю, крім 1,4-глікозидних зв'язків, ще й 1,6-зв'язків. Саме завдяки останнім і утворюються розгалуження. Крохмаль як резервна енергетична речовина відкладається у вигляді зерняток у клітинах листків, стебел, цибулинах, бульбах і насінинах. Співвідношення амілози й амілопектину може змінюватися. Наприклад, крохмаль яблук на 100 % складається з амілози.



Мал. 105.
Мономери *амілопектину* і зв'язки між ними



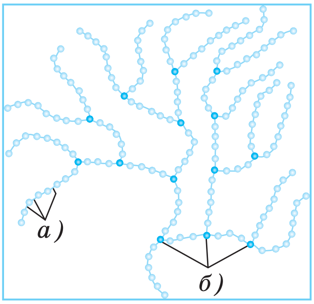
Мал. 106.

Мономери *клітковини* (целюлози) і зв'язки між ними

У кислому середовищі крохмаль вступає в реакцію гідролізу, продуктами якої є мономери. Подібний процес, зворотний до реакції конденсації, відбувається під час травлення, однак в цьому випадку розщеплення відбувається за допомогою спеціальних ферментів, що виділяються травними залозами (*пригадайте, яких саме ферментів і яка залоза їх виробляє*).

Крохмаль під час взаємодії з йодом утворює інтенсивне синє забарвлення (амілопектин дає червоно-фіолетове). Завдяки чому можна легко встановити наявність цієї речовини.

Глікоген, або **тваринний крохмаль**. Найголовніша резервна речовина тварин і грибів. Складається з 30 000 залишків α-D-глюкози, які сполучаються 1,4- та 1,6- глікозидними зв'язками. У людини найбільше глікогену міститься в клітинах печінки, дещо менше — у м'язах. Він є основним постачальником глюкози у кров. На відміну від крохмалю, глікоген складається не з двох, а з кількох типів молекул різного ступеня полімеризації. Всі типи молекул мають розгалужену форму (*мал. 107*) і, що характерно, їх склад залежить від того, до якого типу чи класу тварин організм належить.



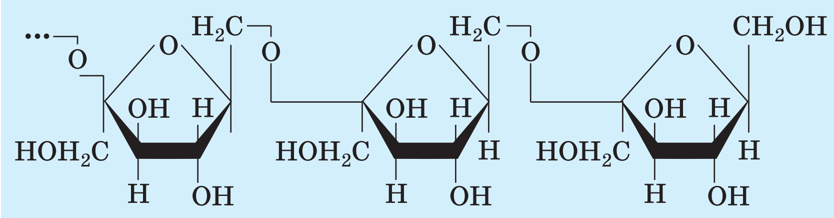
Мал. 107.

Схема будови молекули *глікогену*:
а — глюкозний залишок (1,4-зв'язки);
б — точки галуження молекули (1,6-зв'язки)

Глікоген — більш аморфна, ніж крохмаль речовина, краще розчиняється у воді. З розчином йоду дає червоно-коричневе забарвлення.

При повноцінному харчуванні у печінці людини накопичується до 10 % глікогену, а за несприятливих умов його вміст може знижуватись до 0,2 % від маси печінки. (*Назвіть продукти, які дозволять швидко поповнити запаси цього вуглеводу.*)

Клітковина, або **целюлоза**. Цей полісахарид становить основу клітинної оболонки рослин. Утворений залишками α-D- і β-D-глюкози, що сполучені 1,4-глікозидними зв'язками. Має лінійну форму (*мал. 106*). На вигляд клітковина — це біла волокниста речовина, яка не має смаку і не розчиняється не тільки у воді, але й у багатьох інших розчинниках. Причина цього полягає в тому, що довгі ниткоподібні молекули клітковини в оболонках рослин, взаємодіючи одна з одною, утворюють



Мал. 108.

Мономери *інуліну* і зв'язки між ними

фібрили, а ті в свою чергу — волоконця. Таким чином, молекули клітковини дуже щільно запаковані і відірвати одну від одної дуже складно.

До цього слід додати, що у травному тракті людини, так само як і у тварин, немає ферментів (виняток — жуки-короїди), здатних гідролізувати клітковину, такі ферменти є тільки у бактерій. Саме тому в шлунку жуйних тварини, що живляться виключно травою, є безліч бактерій, які й допомагають перетравити рослинну масу.

Показово, що у клітковині акумульовано близько 50 % усього Карбону біосфери.

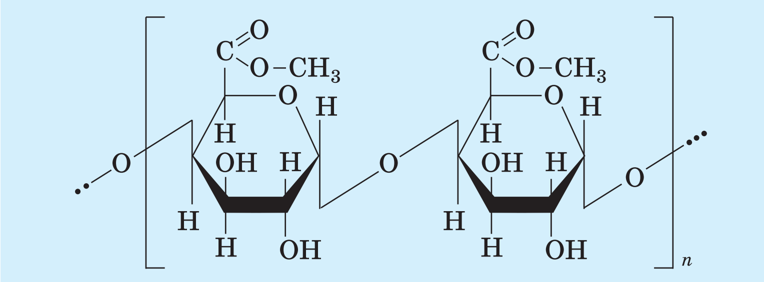
Інулін — ще один резервний полісахарид рослин. Складається головним чином із залишків фруктози, які поєднані 1,2-глікозидними зв'язками (*мал. 108*).

Гетерополісахариди дуже різноманітні. Вони побудовані не тільки із залишків моносахаридів, а ще й з інших простих за складом сполук (метилового спирту, оцтової і сульфатної кислот та інших). Вони виконують захисні та структурні функції. Типовим представником цієї групи вуглеводів є **хітин**, який формує зовнішній скелет членистоногих і клітинні оболонки грибів. Структурною одиницею цього гетерополісахариду є складна сполука, що включає молекулу β-D-глюкози, яка через аміногрупу сполучається із залишком оцтової кислоти. Це лінійна молекула з 1,4-глікозидними зв'язками. Хітин — біла речовина, що нагадує паперову масу, не розчиняється у воді. За своєю будовою дуже схожа на целюлозу.

Гепарин — це речовина, що перешкоджає зсіданню крові у людини, до складу її мономерів, крім α-D-глюкози, входить залишок сульфатної кислоти.

Багато гетерополісахаридів побудовано із залишків D-галактози. Вони, як правило, захищають організм від зовнішніх впливів. До них належить, наприклад, **камедь** — прозора смолиста речовина бурштинового кольору, яка виділяється з тріщин гілок і зелених плодів вишень та абрикосів. **Пектини** (*мал. 109*) входять до складу клітинної стінки рослин і накопичуються у великій

кількості в соковитих плодах. Вони здатні утворювати міцні сполуки з атомами важких металів. Цю властивість широко використовують у медицині для виведення з організму шкідливих йонів.



Мал. 109.

Формула мономерів *пектину*, побудованих із залишків *галактуронової кислоти* і *метилового спирту*

Складні вуглеводи (оліго- і полісахариди) складаються із залишків моносахаридів і виконують в живих системах різноманітні функції, серед яких головними є енергетична, резервна, захисна та структурна. Різноманіття полісахаридів формується за рахунок структури мономерів, що можуть складатися лише із залишків моносахаридів, які відрізняються за типами глікозидних зв'язків та ізомерами. Гетерополімери побудовані з мономерів, до складу яких входять моносахариди, сполучені із залишками органічних і неорганічних речовин.

Перевірте себе

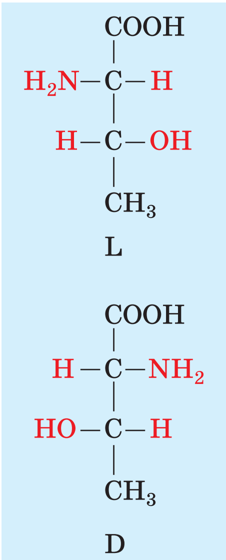
1. Що таке складні вуглеводи?
2. Чим різниться будова крохмалю і клітковини і як це впливає на їх біологічні функції?
3. Чому бульби картоплі й зерна пшениці містять багато крохмалю?
4. Чим відрізняються гомополісахариди від гетерополісахаридів?

Як ви вважаєте?

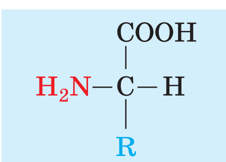
1. На перший погляд у тварин, що живляться рослинами або комахами, обов'язково повинні бути травні ферменти, що здатні розкладати молекули клітковини чи хітину, однак вони є тільки у бактерій. Як пояснити такий парадокс?
2. Які патології можуть виникнути внаслідок порушення обміну вуглеводів в організмі?
3. Чому в рослин кількість вуглеводів значно більша, ніж у тварин?

§21. АМІНОКИСЛОТИ І ПЕПТИДИ

Терміни та поняття: амінокислоти, аспарагін, біполярний іон, ізоелектрична точка, адсорбція, гліцин, аланін, пролін, амінокислотний аналізатор, незамінні амінокислоти, пептиди, поліпептиди.



Мал. 110. Оптична ізомерія: L- і D- форми амінокислоти *треоніну*



Мал. 111. Загальна формула амінокислот (R-радикал)

Що собою являють амінокислоти. Амінокислоти — це група органічних сполук, молекули яких містять дві функціональні групи: карбоксильну — COOH і аміногрупу NH_2 (*мал. 110*). Таким чином, це **амфотерні** (від грец. *амфотерос* — обидва) сполуки, які реагують не лише з основами, а й з кислотами (*мал. 111*). На відміну від інших біологічних макромолекул — жирів та полісахаридів — амінокислоти обов'язково містять атоми Нітрогену. Крім того, до їх складу може входити і Сульфур.

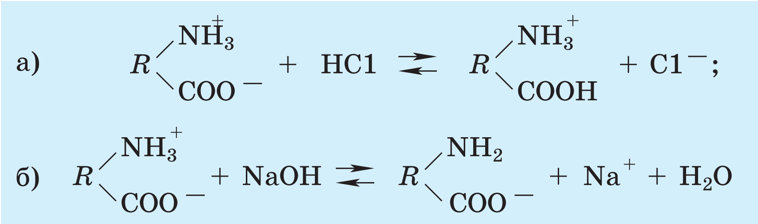
Першу амінокислоту було виділено в 1806 р. французьким хіміком Л. Волкленом із соку рослини спаржі, латинська назва якої *Asparagus*. Саме тому її назвали **аспарагіном**.

Це солодкувата на смак кристалічна речовина, яка не має певного кольору. Всі амінокислоти, за винятком однієї (гліцину), є оптично активними речовинами, однак, на відміну від вуглеводів, належать до L-ряду. Тільки у деяких прокаріотів у клітинній оболонці, як виняток, зустрічаються D-амінокислоти (*мал. 112*).

При лабораторному синтезі оптично активних речовин L- і D-форми утворюються у рівних кількостях, тому в випадку з амінокислотами, так само як із моносахаридами, незрозуміло, чому молекули, які входять до складу живих істот, належать до одного певного ряду. Також загадкою залишається факт, чому амінокислоти і моносахариди відносять до різних оптичних форм. Можна навіть припустити, що це просто випадковість.

Оптичні ізомери амінокислот здатні до спонтанного взаємоперетворення. Вчені підрахували, що в дентині (цей білок формує коронку зуба) L-форма аспарагінової кислоти переходить у D-форму зі швидкістю 0,1 % на рік. Цю обставину можна використовувати для встановлення віку викопних залишків ссавців.

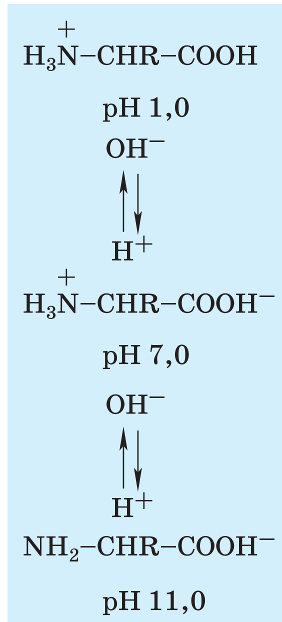
Більшість амінокислот розчинні у воді. При цьому відбувається дисоціація, в результаті якої карбоксильна група віддає протон Гідрогену H^+, отримуючи негативний заряд, а аміногрупа приєднує цей атом і набуває позитивного заряду. Тому амінокислоти в розчині — це **біполярні йони**, оскільки мають як позитивний, так і негативний полюси. Однак у сумі вони мають нульовий заряд і в електричному полі нейтрального середовища, на відміну від звичайних йонів, не мігрують ні до аноду, ні



Мал. 112.

Прояв амфотерних властивостей амінокислот в ході реакцій: *а* — з кислотами; *б* — основами

до катоду. Слід зазначити, що амінокислоти в кислому чи лужному середовищі перестають бути нейтральними молекулами й отримують певний заряд. Це зумовлено тим, що вони можуть віддавати йони H^+ (при підвищенні pH розчину), або навпаки, брати їх з розчину (при зниженні pH) (*мал. 113*). При цьому для кожної амінокислоти, коли вона перебуває в стані біполярного іону, існує певне значення pH, яке називається **ізоелектричною точкою**. У випадку, якщо амінокислота має одну аміно- й одну карбоксильну групи, ізоелектрична точка близька до нейтральних значень pH, якщо ж число аміно- чи карбоксильних груп в молекулі різне, то ізоелектрична точка відповідно зрушується в той чи інший бік.



Мал. 113.

Зміна йонізації молекули амінокислоти залежно від pH розчину

Для виділення амінокислот у чистому вигляді використовується цілий арсенал різноманітних фізичних і хімічних методів. Однак найбільш ефективним виявився метод хроматографії, який ґрунтується на різній здатності амінокислот до **адсорбції** (від лат. *ад* — на і *сорбео* — поглинаю). (*Пригадайте, що це за явище.*) Нині розроблено спеціальний пристрій, який називається **автоматичний амінокислотний аналізатор**. За допомогою цього приладу можна за лічені години провести аналіз амінокислотного складу будь-якого білка.

Різноманітність будови і властивостей амінокислот. На сьогодні з живих істот вдалося виділити понад 170 різних амінокислот. Причому 20 з них є обов'язковими складовими клітин більшості видів живих істот. Амінокислоти відрізняються за будовою бічних ланцюгів. (*Пригадайте з курсу хімії: бічний ланцюг ще називають радикалом.*) У складі найпростішої амінокислоти **гліцину** бічний ланцюг замінює атом Гідрогену. У більш складно організованої амінокислоти **аланіну** бічним ланцюгом є метил ($-CH_3$). Урізноманітнення амінокислот зумовлене ускладненням бічного ланцюга. Він може складатися з вуглеводневого ланцюга, спиртового залишку, сполук Сульфуру, додаткової карбоксильної або аміногрупи і навіть досить складних органічних сполук, карбоновий ланцюг яких має форму кільця. Залежно від структури бічних ланцюгів амінокислоти мають різні хімічні й фізичні властивості.

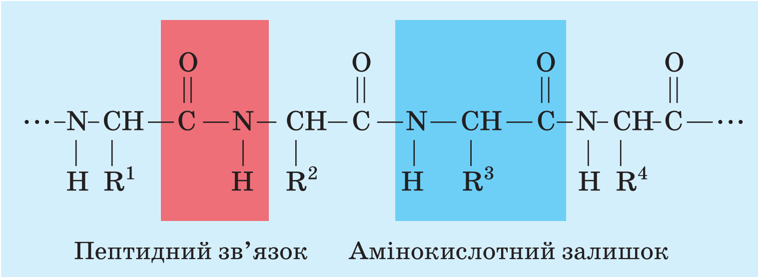
Класифікація амінокислот. Амінокислоти класифікують по-різному. Найбільш чіткою є класифікація за структурою замісників, які визначають фізичні і хімічні особливості кожної амінокислоти. За таким принципом 20 універсальних амінокислот поділяють на чотири групи (*форзац 1*): *неполярні* (аланін, валін, ізолейцин, лейцин, метіонін, пролін, триптофан, фенілаланін, гліцин); *полярні*, при pH = 7 незаряджені (аспарагін, глутамін, серин, тирозин, треонін, цистеїн); *полярні*, при pH = 7 заряджені негативно (аспарагінова і глутамінова кислоти); *полярні*, при pH = 7 заряджені позитивно (аргінін, гістидін, лізин).

Зазначимо, що серед 20 універсальних амінокислот є одна — **пролін**, у якої замість аміногрупи ($-NH_2$) міститься іміногрупа = NH, тож її називають *імінокислотою*.

Які амінокислоти називають незамінними. Кожна рослина здатна синтезувати всі 20 універсальних амінокислот, використовуючи для цього залишки карбонатної і нітратної кислот. Тварини також можуть утворювати амінокислоти з простих молекул, але не здатні синтезувати всі необхідні для життя амінокислоти. Саме ці амінокислоти, які тварини не здатні синтезувати, називають **незамінними амінокислотами**. Кожному виду тварин властивий певний набір незамінних амінокислот. В організмі людини не синтезуються вісім амінокислот: *валін*, *ізолейцин*, *лейцин*, *лізин*, *метіонін*, *треонін*, *триптофан*, *фенілаланін*. Вони не відіграють у метаболізмі особливої ролі, відмінної від ролі інших амінокислот. Незамінні амінокислоти мають надходити до організму тварини з їжею. Причому в м'ясі є всі незамінні амінокислоти, а в тканинах більшості рослин — ні, тому повноцінною рослинною їжею для людини є тільки пшениця та рис, в зернах яких міститься увесь набір незамінних амінокислот. Людина, яка споживає пшеничний хліб, звичайну кам'яну сіль та воду, теоретично може жити, не страждаючи від дефіциту необхідних організму речовин.

Що таке пептидний зв'язок і пептиди. Амінокислоти здатні реагувати між собою — карбоксильна група однієї амінокислоти взаємодіє з аміногрупою іншої. При цьому утворюється молекула води, а валентності, що вивільнилися, беруть участь в утворенні зв'язків між амінокислотами (*мал. 114*). (*Пригадайте, що таке реакція конденсації.*)

Пептидним є ковалентний зв'язок аміногрупи з карбоксильною (–NH–CO–). Речовини, що складаються із залишків 2–8 амінокислот, називаються **пептидами**, із залишків 10–60 амінокислот — **поліпептидами** (*мал. 114*). Поліпептиди, що містять сотні залишків амінокислот, і є **білками** — головною будівельною речовиною клітини. (*Пригадайте прізвища науковців, що розробили положення поліпептидної теорії будови білків.*)



Мал. 114.

Пептидний зв’язок між молекулами амінокислот

Біологічне значення амінокислот. Отже, амінокислоти є мономерами, з яких будуються білки. Причому всі білки утворюються саме з 20 універсальних амінокислот. Хоча і тут є свої винятки. В деяких білках зрідка зустрічаються похідні цих амінокислот, наприклад *гідроксилізин* або *гідроксипролін*. Як з’ясувалося, ці амінокислоти є вторинними, тобто утворилися вони вже після того, як увійшли до складу поліпептидного ланцюга.

Окремі пептиди й амінокислоти є основою не лише для білків, а й для інших речовин. Слід зазначити, що таких амінокислот, які не входять до складу білків, вчені нарахували вже понад 150. Це не тільки проміжні ланки синтезу універсальних амінокислот, а і функціонально навантажені речовини, що мають в клітині певну функцію. Наприклад, невід’ємний компонент меланіну — пігменту шкіри й волосся людини — амінокислота тирозин.

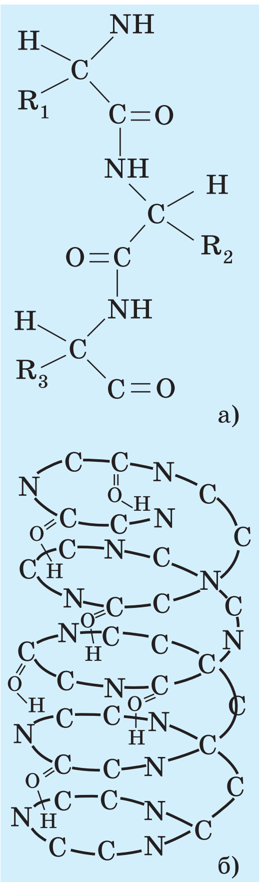
Крім того, амінокислотам притаманні й інші важливі функції. Амінокислоти, які надходять до організму тварини з їжею, можуть бути джерелом енергії. Вони легко окиснюються до CO_2, H_2O і найпростіших нітрогеновмісних сполук. При цьому енергії виділяється не менше, ніж при окисненні моносахаридів.

Завдяки своїм амфотерним властивостям амінокислоти забезпечують буферність вмісту клітини. (*Пригадайте, завдяки яким ще речовинам підтримується сталість pH клітини.*)

Амінокислоти — це похідні карбонових кислот, у молекулах яких міститься NH_2. Вони мають амфотерні властивості і здатні реагувати між собою, утворюючи поліпептидні ланцюги. У складі живих істот виявлено понад 170 амінокислот, однак універсальними, притаманними всім живим істотам є 20 амінокислот, з яких будуються білки. Крім того, амінокислоти виконують й інші функції, зокрема можуть слугувати джерелом енергії.

Таблиця 6. Елементний склад білків, %

Карбон	50–55
Оксиген	21–24
Нітроген	15–18
Гідроген	6,5–7,5
Сульфур	0,3–2,5
Фосфор	1–2



Мал. 116.
Рівні організації *молекули білка*:
а — первинна;
б — вторинна

Перевірте себе

1. Чому амінокислоти дістали таку назву?
2. Молекули деяких амінокислот не мають полярної будови, проте добре розчинюються у воді. Чим це пояснити?
3. Що таке пептидний зв'язок?
4. Які функції виконують амінокислоти?

Як ви вважаєте?

1. Ізомери амінокислот і моносахаридів, що входять до складу живого, належать до різних рядів. Чим це можна пояснити?
2. Чому до складу білків усіх живих організмів входить тільки 20 амінокислот?
3. Чому тварини, на відміну від рослин, не здатні синтезувати всі необхідні амінокислоти?

§22. БІЛОК І РІВНІ ЙОГО ОРГАНІЗАЦІЇ

Терміни та поняття: протеїни, білки, пептидний, йонний, дисульфідний, водні та гідрофобні зв'язки, первинна молекулярна філогенія, вторинна, третинна, четвертина структури, α-спіраль, β-структура, денатурація.

Яка хімічна будова білків. Білки було виділено в окремий клас біологічних молекул ще у XVIII ст., коли було відзначено їх унікальну властивість перетворюватися на желеподібну речовину при нагріванні чи дії кислот. У той час одним з основних об'єктів досліджень був яєчний білок, звідки і пішли його російська й українська назви. В англійській мові всі білки називають **протеїнами** (від грец. *протос* — перший).

Поліпептиди, які мають величезні розміри і молекулярну масу понад 6000, називають **білками**. До складу білків, крім Карбону, Гідрогену, Оксигену, Нітрогену і Сульфуру — елементів, що утворюють амінокислоти, можуть входити ще Фосфор, Ферум, Цинк і Купрум, які утворюють з білками молекулярні комплекси (*табл. 6*).

Поліпептидні ланцюги білків, на відміну від полісахаридів, не мають розгалуженої структури. Зазвичай до їх складу входить від 100 до 500 залишків амінокислот, а молекулярна маса коливається від 10 до 100 тисяч. Однак є такі білки, що мають понад 300 тисяч залишків амінокислот й молекулярну масу приблизно 40 мільйонів. Вони входять до складу вірусів. Якщо зауважити, що білки будуються з 20 амінокислот, а їх молекули нараховують сотні залишків, стає зрозумілим, що різноманіття білків на рівні послідовності

амінокислот є практично безмежним. Це дозволяє білкам мати різноманітну структуру, різні хімічні і фізичні властивості і відповідно виконувати цілий спектр функцій.

Тому не випадково, що в клітині білків більше, ніж будь-яких інших органічних сполук. У сухій речовині клітини на білки припадає більше ніж 50 % . Білки — це найважливіший компонент їжі тварин.

Якими зв'язками утримуються амінокислоти в молекулах білків. Амінокислоти настільки різноманітні за будовою, що між їх атомами виникають «нетрадиційні» для органічних сполук взаємодії, завдяки яким утворюються кілька різних типів зв'язків.

Пептидний зв'язок — зв'язок, за допомогою якого сполучаються амінокислоти й утворюється поліпептидний ланцюг.

Йонний зв'язок виникає між кінцевими, а також вільними групами кислих (–COOH) та лужних ($-NH_2$) амінокислот, які перебувають у розчині в іонізованому стані. При зміні pH йонні зв'язки руйнуються. (*Як ви вважаєте, чому?*)

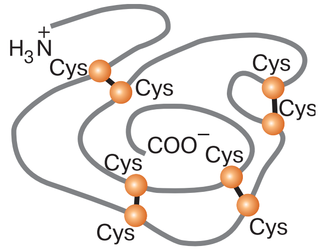
Дисульфідний зв'язок утворюється між сульфідними групами (–SH) залишків амінокислоти цистеїну. Як і пептидний, він належить до ковалентного. Дисульфідні зв'язки виникають як між окремими частинами однієї молекули, так і між різними молекулами білків (*мал. 115*).

Водневі зв'язки виникають між електропозитивними атомами Гідрогену в гідроксильній аміноргупі (–OH, $-NH_2$) і електронегативними атомами Оксигену карбоксильної –C=O-групи. Ці зв'язки значно слабкіші за ковалентні, однак оскільки їх буває дуже багато, то їх внесок у стабільність молекули може бути значним.

Гідрофобні зв'язки утворюються між неполярними амінокислотами в розчинах. Це свого роду протиставлення водневим зв'язкам. Гідрофобні зв'язки слабкіші навіть за водневі, але через їхню численність їх цілком достатньо для підтримування форми молекули.

Рівні організації білків. Різноманітність будови поліпептидних ланцюгів на рівні окремих амінокислот приводить до того, що кожний білок має свою тривимірну форму, яка, як ви напевно пам'ятаєте, називається конформацією. Однак при цьому всі білки без винятку мають три, а деякі і чотири рівні просторової структурної організації молекули (*мал. 116, 117*).

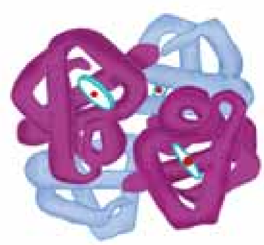
Первинна структура — це сполучені пептидними зв'язками залишки амінокислот, що мають вигляд лінійної молекули. Амінокислоти в поліпептидному ланцюгу розміщуються не випадково, а в певному фіксованому порядку, і саме цей порядок визначає хімічні й фізичні властивості та функції білка. Підраховано, що у



Мал. 115.
Схема утворення дисульфідних зв'язків у *молекулі білка* (Cys — молекули цистеїну)



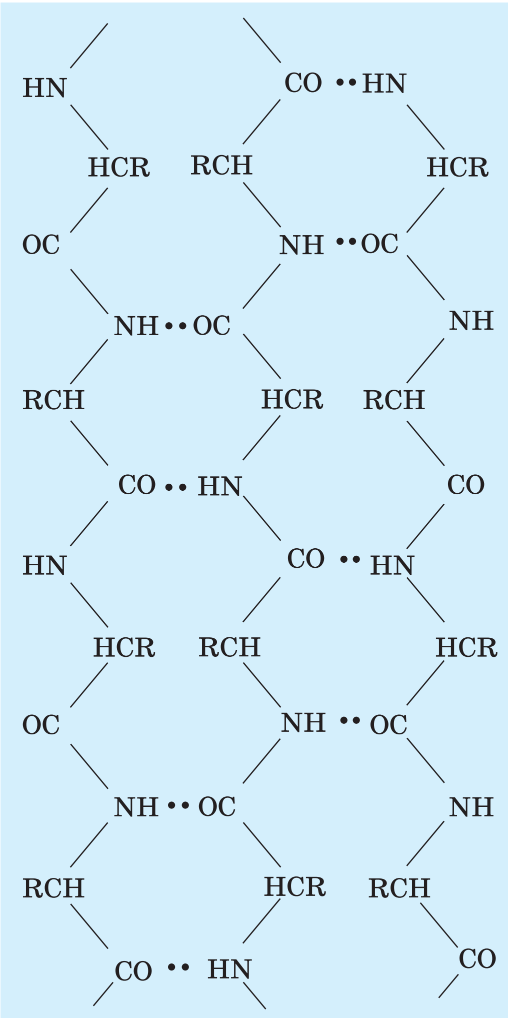
а)



б)

Мал. 117.
Рівні організації *молекули білка*:
а — третинна;
б — четвертинна

невеликому поліпептидному ланцюзі, який складається лише із 150 амінокислот, можуть утворитися понад мільярд комбінацій амінокислот. Звідси випливає, що кожний вид білка має свою унікальну амінокислотну послідовність. Оскільки до складу білка входять як кислі, так і лужні амінокислоти, будь-який білок має амфотерні властивості. При нейтральному значені pH залежно від балансу кислих чи лужних амінокислот більшість водорозчинних білків мають певний заряд і здатні рухатися в електричному полі або до аноду, або до катоду. Ця властивість використовується для розділення суміші білків, що досягається електрофорезом у спеціальних носіях — гелях. Значення pH, при якому в білку кількість негативно заряджених груп відповідає кількості позитивно заряджених, є *ізоелектричною точкою білка*. При цьому він втрачає здатність рухатися в електричному полі.



Мал. 118. Схема утворення β-структури білків

Раніше встановлення амінокислотної послідовності будь-якого білка забирало багато років. Першим білком, в якого була розшифрована послідовність залишків амінокислот, був *інсулін*. (*Пригадайте, яку функцію виконує цей гормон.*) Ці дослідження були проведені в Кембриджському університеті впродовж 10 років (1945–1954), а їх автор — лауреат Нобелівської премії Ф. Сенгер (нар. 1918). Безпосереднє визначення амінокислотної послідовності і на сьогодні залишається досить складною справою, навіть за наявності спеціальних приладів, які автоматизують цей процес. У наш час визначені послідовності сотень білків найрізноманітніших організмів.

Як виявилося, чим більш спорідненими є між собою види тварин і рослин, тим подібніший у них порядок амінокислотних послідовностей гомологічних білків. Це дає можливість кількісно оцінити спорідненість видів, що належать до різних груп організмів. Цей напрям у систематиці тварин і рослин, який дістав назву **молекулярної філогенії**, сформувався в останні десятиліття XX ст., але завдяки йому вже отримано ряд важливих наукових результатів. Зокрема з'ясувалося, що в людини і шимпанзе більш ніж 98 % білків мають ідентичні амінокислотні послідовності, а тому вчені говорять, що людину і шимпанзе «виліплено з одного молекулярного тіста». Для порівняння: у зовні

дуже схожих видів гризунів або мушок-дрозофіл лише близько 75 % білків мають ідентичні амінокислотні послідовності.

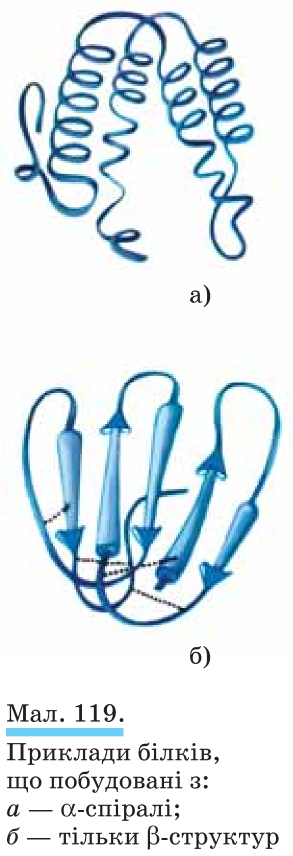
Вторинна структура білка частіше за все являє собою закручений у спіраль поліпептидний ланцюг. Цей факт встановили американські вчені Л. Полінг (1901–1994) і Р. Корі (1897–1971) в 1951 р., використавши рентгеноструктурний аналіз. Такий тип конформації був названий **α-спіраллю**, яку зазвичай порівнюють із гвинтовою драбиною. Висота кожної «сходинки» відповідає розмірам залишку однієї амінокислоти, а висота одного оберту — 3,6 амінокислотних залишків. Вважається, що така просторова форма молекули білка енергетично найвигідніша. Спіраль утворюється внаслідок водневих зв'язків, які виникають між залишками CO-групи однієї амінокислоти та NH-групи іншої амінокислоти, віддаленої саме на чотири амінокислотних залишки. Водневі зв'язки значно слабкіші за ковалентні, але завдяки тому, що спіраль «прошита» численними водневими зв'язками, її структура дуже міцна.

Крім того, в деяких білках має місце укладка у вигляді так званих **β-структур** (*мал. 118*). У цьому випадку поліпептидні ланцюги розтягнуті і мають вигляд шарів, стабілізованих водневими зв'язками (*мал. 119*).

Третинна структура білка виникає автоматично з вторинної і є наслідком взаємодії амінокислотних радикалів з молекулами розчинника. При цьому гідрофобні ділянки молекули втягуються усередину молекули, а гідрофільні залишаються ззовні. Таким чином форму й об'єм молекули білка в тривимірному просторі формують гідрофобні зв'язки, які є дуже слабкими. Однак ця їх особливість в даному випадку не вада, а навпаки, їхня перевага, бо робить структуру білка лабільною. У деяких білків третинна структура молекули може стабілізуватися ще й ковалентними зв'язками за рахунок утворення дисульфідних містків між молекулами цистеїну, розташованими на віддалених частинах молекули.

Не існує навіть двох різних білків, які б мали цілком однакову третинну структуру. Це означає, що кожному виду білка властива унікальна, причому досить химерна, форма укладки молекули, яка є найкращою для її ефективного функціонування.

Стабільність третинної структури залежить від внутрішньоклітинного середовища, зокрема від pH і температури. Значні коливання температури або зміни хімічного складу клітини порушують третинну структуру білка і негайно впливають на його функціонування. Надмірне нагрівання або вплив сильнодіючих хімічних речовин призводить до **денатурації** (від лат. *де* — відокремлення і *натура* — природні властивості) —


а)
б)

Мал. 119.
Приклади білків, що побудовані з:
а — α-спіралі;
б — тільки β-структур

руйнування третинної структури білка. Саме тому такою небезпечною для людини є температура, вища за +41 °С. При такій температурі вже може початися денатурація білків, що неминуче призведе до смерті.

Четвертинна структура. Окремі види білків утворюють надмолекулярні структури, у яких звичайно сполучені дві або чотири однакові чи дуже близькі за будовою молекули. Об'єднання цих молекул в одну структуру відбувається за рахунок іонних і водневих зв'язків. Наприклад, *гемоглобін* — пігмент крові людини — складається з чотирьох сполучених одна з одною молекул-субодиниць, дві з яких називаються α-гемоглобінами, а дві — β-гемоглобінами (*мал. 120*). Ці субодиниці, сполучившись, утворюють надмолекулярний комплекс, який має вигляд правильного тетраедра. Вважається, що четвертинна структура характерна для білків, функції яких особливо важливі для організму, а тому їх активні центри мають бути дуже стабільними.

Молекули білка — це біополімери, що, на відміну від вуглеводів, являють собою лінійний нерозгалужений ланцюг, ланки якого відрізняються хімічними й фізичними властивостями та можуть сполучатися зв'язками різного типу. Ще одна відмінність білків від полісахаридів полягає в тому, що білки мають кілька структурних рівнів організації.

Перевірте себе

1. Чому білки можуть виконувати різноманітні функції?
2. Які типи зв'язків утворюють молекули білка?
3. Чим відрізняються рівні організації білків?

Як ви вважаєте?

1. Чому молекули білків, на відміну від полісахаридів, мають лише лінійну структуру?
2. Чому денатурація білка є переважно процесом необоротним?
3. Однакові білки різних видів організмів, як правило, відрізняються первинною структурою молекули. Чому?

§23. ВЛАСТИВОСТІ І РІЗНОМАНІТТЯ БІЛКІВ

Терміни та поняття: хромофорність, коагуляція, висолювання, електрофорез, пепсин, протеїни, протеїди (глікопротеїди, ліпопротеїди, нуклеопротеїди, фосфопротеїди, металопротеїди), глобулярні і фібрилярні білки, (актин, міозин), структурні, транспортні, регуляторні, запасні, захисні, скоротливі, рецепторні білки (гормони, інсулін, фактори росту, інтерферон, імуноглобуліни, ферменти).

Надзвичайне різноманіття будови молекул дозволяє білкам мати унікальні протилежні фізичні і хімічні властивості, які в свою чергу дозволяють їм виконувати в організмі широкий спектр функцій.

Фізико-хімічні властивості білків. Молекули білків — це одні з найважчих біомолекул, їх молекулярна маса коливається від кількох тисяч до мільйонів дальтон.

Виділені білки в чистому вигляді здебільшого білого кольору, мають вигляд пухкої волокнистої речовини або кристалів.

Багато білків розчиняються у воді (гідрофільні білки), але є й нерозчинні (гідрофобні). Розчини білків безбарвні. Виняток становлять лише білки, у яких є **хромофорні** (від грец. *хромос* — колір і *форео* — несу) групи, наприклад, розчин гемоглобіну має червоний колір.

Білки утворюють колоїдні розчини. Промінь світла, що проходить через колоїдний розчин, розсіюється, а це легко встановити спеціальним оптичним приладом. (*Пригадайте ефект Тіндаля.*) Чим вища концентрація білка, тим сильніше розсіювання. У такий спосіб можна визначити вміст білка в розчині.

Через те що розчини білків є колоїдними, для них характерна нестійкість. Невипадково, що розчинність білків залежить від pH розчину і наявності в ньому тих або інших солей. Тому завжди можна підібрати умови, за яких певний білок **коагулює** (від лат. *коагуляціо* — згортання) — випадає в осад. Завдяки цій властивості **методом висолювання** вдається виділити потрібний білок із суміші інших.

Як вам вже відомо молекули білків здатні до *денатурації*, тобто до руйнування третинної структури при збереженні первинної. Цього можна досягти шляхом підвищення температури або додаванням сильнодіючих речовин (кислот, солей або лугів) у білковий розчин. Характерною рисою денатурації є втрата білком гідрофільних властивостей і набуття гідрофобних, тобто білок перестає бути розчинним.

Розчини білків — це електроліти. Молекули білків здатні набувати певного заряду, який залежить від pH розчину. (*Пригадайте, що таке ізоелектрична точка.*) Молекули білків відрізняються одна від одної за числом позитивно й негативно заряджених груп і тому характеризуються різною швидкістю міграції в електричному полі, що дозволяє здійснювати розділення суміші білків за допомогою **методу електрофорезу**.

Усі білки — це амфотерні сполуки. Вони здатні реагувати з речовинами, що мають властивості кислот чи основ. Однак ця особливість білків багато в чому залежить від pH розчину, а головне — від співвідношення



а)

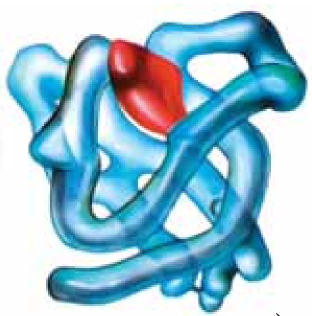
б)

в)

Мал. 120.

Схема будови молекули гемоглобіну людини:
а — α-субодиниця;
б — β-субодиниця;
в — повна молекула гемоглобіну. Чорна ліня означає хід «хребта» молекули, який складається зі 146 амінокислот. Червоні диски — це місця зв'язування Оксигену, їх в молекулі нараховується чотири

карбоксильних і аміногруп. Білки, ізоелектрична точка яких більша 7, вважаються основними, менше 7 — кислотними. Взагалі ізоелектрична точка більшості білків, наприклад людини, лежить у межах pH від 5,5 до 7. Однак є білки з екстремальними значеннями ізоелектричних точок, що цілком випливає з їхнього призначення. Травний фермент **пепсин**, що міститься в шлунку хребетних, має ізоелектричну точку на рівні близько 1, а білки, що сполучаються з нуклеїновими кислотами і містяться в ядрі клітини — близько 12.



а)



б)

Мал. 121.
Схема будови типових глобулярних білків: *а* — *міоглобіну* (білка, що транспортує Оксиген по м'язах хребетних тварин); *б* — ферменту *рибонуклеази* (кожна кулька — окремий атом)

Що таке протеїни і протеїди. За особливостями будови молекули білки поділяють на два класи: прості — **протеїни** і складні — **протеїди** (від грец. *протос* — перший і *ейдос* — вид).

Протеїни — білки, що складаються тільки з амінокислот. Це надзвичайно різноманітна за своїм функціональним призначенням група. Вони беруть участь у формуванні генетичного апарату клітини, визначаючи укладку ДНК у хромосомах; входять до складу крові, де виконують захисні функції; містяться в зерні пшениці й інших злаків як запасна речовина; є складовою кісток, хрящів і волосся ссавців.

До складу протеїдів, крім амінокислотного ланцюга, входить небілкова частина. Нею можуть бути молекули вуглеводів **(глікопротеїди)**, ліпідів **(ліпопротеїди)**, нуклеїнових кислот **(нуклеопротеїди)**, залишки ортофосфатної кислоти **(фосфопротеїди)**, атоми металів **(металопротеїди)** і деякі інші речовини. Слід зазначити, що переважна частина білків клітини є протеїдами. Саме до цього класу належать гемоглобін і білки, з яких складаються клітинні мембрани.

Як класифікують білки за формою молекули. Білки поділяють за складом і функціональним призначенням, а також за формою молекул. Якщо поліпептидні ланцюги в молекулах білка згорнуті в структури, які мають еліпсоподібну чи кулеподібну форму, то такий білок називають **глобулярним** (від лат. *глобулус* — кулька). До таких білків належить переважна частина транспортних білків, зокрема гемоглобін (*мал. 120*) і міоглобін (*мал. 121, а*) та майже всі ферменти (*мал. 121, б*). Якщо молекули білка утворюють довгі волокна, то ці білки називають **фібрилярними** (від лат. *фібрила* — волоконце). Вони входять до складу шкіри, волосся і рогів ссавців та виконують в організмі головним чином статичні структурні функції (*мал. 122*). Численні білки через стан клітини можуть змінювати форму та із глобулярних перетворюватися на фібрилярні, зокрема так функціонують білки м'язових волокон — **актин** і **міозин** (*мал. 123*).

Класифікація білків за їх функціями. Оскільки білки виконують дуже багато різних функцій, що зумов-

люється структурою їх молекул, існує класифікація білків за їх функціональним призначенням.

Структурні білки. До цієї групи належать білки, що є структурними компонентами клітинних мембран. Білок колаген входить до складу хрящів і сухожилків; еластан є компонентом судинної стінки; волосся і нігті ссавців, пір'я птахів, луска плазунів містять кератин.

Транспортні білки беруть участь у перенесенні речовин в клітинах та організмі. До цієї групи належать гемоглобін і гемоціанин, які розносять кисень по організму тварин, та деякі інші білки крові.

Крім того, за допомогою білків, що входять до складу клітинної мембрани, здійснюється транспортування речовини крізь поверхню клітини.

Регуляторні білки — це **гормони** — речовини, що регулюють процеси життєдіяльності тварин. Вони виробляються у залозах внутрішньої секреції. Типовим представником регуляторних білків людини є **інсулін**. Це протеїн, функція якого полягає в зниженні рівня глюкози в крові.

Особливу групу регуляторних білків складають **фактори росту** — невеличкі поліпептиди, які мають властивість регулювати фізіологічні процеси, зокрема вони стимулюють поділ клітин, однак, на відміну від гормонів, продукуються не спеціальними залозами, а клітинами усіх тканин.

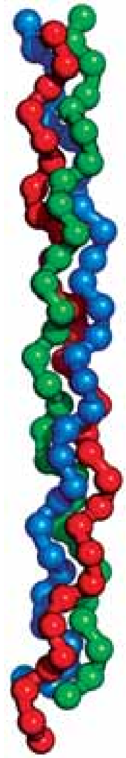
Запасні (резервні) білки виконують функцію забезпечення живлення зародків рослин і тварин. Прикладами запасних білків є альбумін яєчного білка і казеїн молока.

Захисні білки. До цієї групи належать складні білки **інтерферон** та **імуноглобуліни**, функція останніх — специфічно сполучатися зі сторонніми для організму речовинами (клітинами), які потрапляють до нього.

Скоротливі білки входять до складу всіх скоротливих структур клітин тварин. Вони мають вигляд довгих ланцюгів, закручених у спіраль. Під час синхронного стискування цих спіральних молекул відбуваються м'язові скорочення. До скоротливих білків належать актин і міозин.

Рецепторні білки здійснюють сигнальну функцію. Завдяки їх високій біологічній активності розв'язується проблема розпізнавання молекул. До цієї групи належать рецепторні білки плазматичної мембрани, які слугують для розпізнавання клітиною певних гормонів. Сигнальна функція білків є основою дуже важливої властивості організму — подразливості.

Особливу групу білків складають **ферменти** (від лат. *ферментум* — закваска) — біологічні каталізатори.



Мал. 122.

Схема будови молекули *кератину* фібрилярного білка, з якого будується волосся ссавців

Білки також виконують багато інших функцій, що безпосередньо не пов'язано з їх первинним призначенням у клітині. За екстремальних умов існування, зокрема під час тривалого голодування, частина білків може використовуватися організмом як джерело енергії. Білковий ланцюг руйнується до амінокислот, які в подальшому окиснюються подібно до глюкози чи жирів. При повному окисненні 1 г білка виділяє 17,6 кДж.



Мал. 123. Схема будови молекули *міозину*

Африканська дводишна риба протоптерус легко перечікує пересихання водойм, зариваючись у мул на кілька місяців. Джерелом речовин й енергії, необхідних для підтримування життєдіяльності, їй слугують власні м'язи.

Завдяки своїй найрізноманітнішій будові різні види білків мають унікальні і навіть протилежні властивості. За будовою білки поділяють на два класи — прості і складні білки, а кількість функціональних груп білків значно більша.

Перевірте себе

1. Назвіть головні хіміко-фізичні властивості білків.
2. За якою ознакою білки поділяють на протеїни і протеїди?
3. Як класифікують білки за біологічними функціями?
4. У чому полягає енергетична функція білків?

Як ви вважаєте?

1. Чому здатність мати протилежні фізико-хімічні властивості є унікальною властивістю саме білків?
2. Дотепер не існує однозначної класифікації білків, а тому існує кілька. Як ви вважаєте, чому?

§24. ФЕРМЕНТИ І БІОЛОГІЧНИЙ КАТАЛІЗ

Терміни та поняття: каталізатор, ензим, апофермент, кофермент, вітамін, субстрат, оксидоредуктази, трансферази, гідролази, ліази, активний центр ферменту, фермент-субстратний комплекс, активатори, інгібітори, ціаніди, цитохромоксидази.



Мал. 124. Л. Пастер

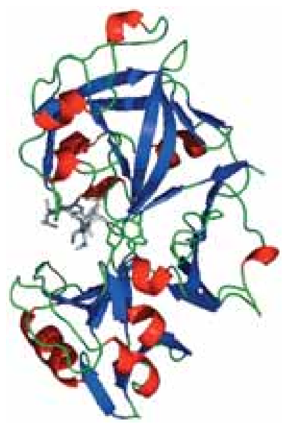
Історична довідка. Група простих або складних білків, які виконують функцію біологічних **каталізаторів** (від грец. *каталізис* — руйнування), називається **ферментами**. Цей термін було застосовано ще в XVII ст. нідерландським лікарем Я.Б. ван Гельмонтом під час описування процесу травлення. Друга назва цих речовин — **ензими** (від грец. *ен* —

всередині і *зиме* — закваска), вживана нині переважно в англійській і французькій мовах, з'явилась у науковій літературі значно пізніше — лише наприкінці XIX ст. Слід зазначити, що трохи більше ста років тому терміни фермент і ензим, які зараз є синонімами, відображали різне розуміння вченими природи хімічних перетворень, що відбуваються в організмах, зокрема спиртового бродіння. Великий мікробіолог ***Л. Пастер*** (*мал. 124*) (1822–1895) трактував явище біологічного каталізу як певну «життєву силу», притаманну лише живим мікроорганізмам. Його опоненти, серед яких був відомий біохімік Ю. Лібіх (*пригадайте, у чому полягає головний внесок цього вченого у біохімію*), вважали, що прискорення хімічних реакцій при бродінні обумовлене дією особливих речовин — ензимів, які продукують клітини дріжджів. Вже після смерті Пастера з'ясувалося, що мали рацію його опоненти: спиртове бродіння дійсно може відбуватися без безпосередньої участі клітин живих дріжджів, — достатньо до закваски додати клітинний вміст, і цей процес піде без жодних перешкод. У такий спосіб було доведено, що ензими — це специфічні речовини, що входять до складу клітин. Автор статті, в якій були наведені результати цих досліджень, німецький біохімік ***Е. Бухнер*** (*мал. 125*) (1860–1917) в 1907 р. отримав за це відкриття Нобелівську премію.



Мал. 125.
Е. Бухнер

Будова і класифікація ферментів. Звичайно фермент складається з двох частин: білкової — **апоферменту** (від лат. *апо* — без чогось і *фермент*) та небілкової — **коферменту** (від лат. *ко* — разом і *фермент*). Роль останнього в одних ферментах виконують спеціальні низькомолекулярні речовини — **вітаміни**, в інших — іони металів або деякі сполуки. Білкова частина ферменту може мати третинну або четвертинну структуру. Це викликано тим, що ферменти, які складаються з кількох білкових субодиниць, мають більшу специфічність дії. У будь-якій клітині міститься кілька сотень видів ферментів, кожний з яких каталізує певну реакцію, впливаючи на конкретну речовину — **субстрат** (від лат. *субстратум* — основа).



Мал. 126.
Комп'ютерна модель просторової будови молекул *пепсину*

Спочатку назви ферментам давали за випадковими асоціаціями, які виникали у їх першовідкривачів. Наприклад, фермент *пепсин* (*мал. 126*) отримав цілком логічну назву від грецького слова *пепсис* — травлення, а інший травний фермент — *трипсин* чомусь від *трипсис* — розріджую. В подальшому назви ферментам давали у відповідності до того, на який субстрат впливає фермент. Фермент, який розщеплює полісахарид амілозу до молекул глюкози, назвали *амілазою* (*мал. 127*), а фермент, що руйнує зв'язки молекул ортофосфатної кислоти з іншими молекулами, — *фосфатазою*.

В основу сучасної класифікації ферментів покладено кілька ознак, зокрема, на який субстрат діє фермент, яку реакцію він каталізує і, якщо ця реакція обумовлена переносом активних груп з однієї молекули на іншу, то в назві зазначається сполука, до якої ця група транспортується. Відповідно до Міжнародної комісії з номенклатури кожний фермент має власний номер — шифр. Всього виділяють шість класів ферментів.

Оксидоредуктази каталізують реакції окиснення чи відновлення. До цих ферментів належать кілька дуже важливих: *каталаза* (*мал. 128*), яка каталізує розклад гідроген пероксиду, що постійно утворюється в клітинах, до води і кисню; *лактатдегідрогеназа* каталізує окиснення молочної кислоти до піровиноградної, *алкогольдегідрогеназа* окиснює спирти до альдегідів. Вважається, що саме генетично обумовлений дефіцит останнього ферменту є причиною нездатності переносити спиртні напої окремими особами.

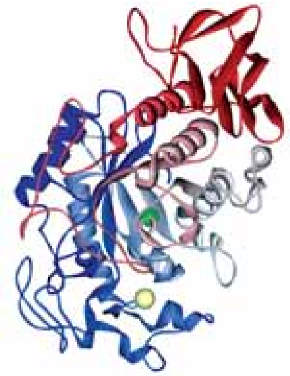
Трансферази каталізують перенесення певних груп атомів з однієї молекули субстрату на іншу. Серед ферментів цього класу особливе значення мають **фосфотрансферази**, які транспортують фосфатну групу з однієї молекули на іншу.

Гідролази каталізують реакції гідролізу (*амілаза*, *фосфатаза*, *пепсин*, *трипсин*).

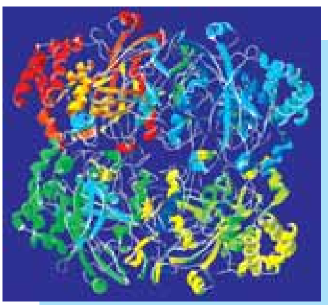
Ліази каталізують розрив хімічних зв'язків у молекулі субстрату, який не приводить до гідролізу. В результаті лінійні молекули можуть переходити в кільцеві, або замість одинарного зв'язку буде утворюватися подвійний (дезамінази).

Ізомерази каталізують просторові зміни в структурі молекули субстрату, тобто перетворюють один ізомер на інший.

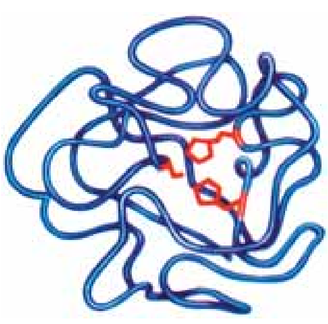
Лігази каталізують утворення хімічних зв'язків між субстратами за рахунок гідролізу енергозберігаючих молекул. Типовим прикладом є *ДНК-полімераза*, за допомогою якої утворюються молекули ДНК.



Мал. 127. Комп'ютерна модель просторової структури *амілази*



Мал. 128. Модель *каталази* еритроцитів людини



Мал. 129. Просторова модель *хімотрипсину*. Червоним кольором позначено активний центр

Яким чином відбувається біологічний каталіз. Основою життєдіяльності кожного організму є величезна кількість взаємопов'язаних хімічних реакцій, перебіг яких відбувається миттєво. Цю надзвичайну швидкість перетворень одних речовин на інші забезпечують ферменти. Це їх головна функція. Підраховано, що ферменти здатні прискорювати хімічні реакції у мільйони і мільярди разів. Хімічні реакції, які відбуваються у клітинах за частки секунди, за звичайних умов тривають роками. Так, розчин сахарози за кімнатної температури може протягом кількох років зберігатися без жодних змін, а після додавання ферменту сахарази цей дисахарид розкладеться на молекули глюкози і фруктози за кілька хвилин. Щоб досягти подібного ефекту іншим шляхом, потрібно сильно нагріти

розчин і додати до нього хлоридну чи сульфатну кислоту. (*Пригадайте їх формули.*) Зазвичай це неможливо зробити в живій клітині, тому цю роботу виконують ферменти.

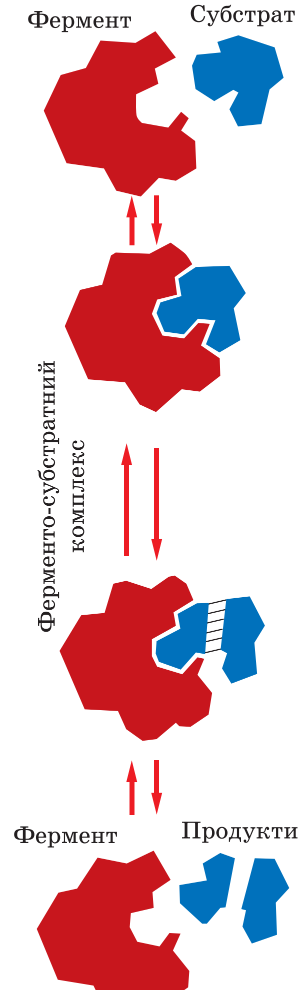
Яким чином ферменти прискорюють хімічні реакції без підвищення температури й отримання енергії ззовні? У молекулі ферменту міститься група особливо активних амінокислот, які утворюють **активний центр ферменту** (*мал. 129*), здатного швидко взаємодіяти лише з відповідною речовиною — субстратом (*мал. 130*). При цьому субстрат є специфічним для певного ферменту і підходить, як за своєю структурою, так і фізико-хімічними властивостями до активного центру «як ключ до замка», а тому перебіг реакції субстрату з активним центром здійснюється миттєво. Унаслідок реакції виникає **фермент-субстратний комплекс**, який потім легко розпадається, утворюючи вже нові продукти. Речовини, що утворилися, враз відокремлюються від ферменту, який відновлює свою структуру і стає здатним знову здійснювати ту саму реакцію. За секунду фермент реагує з мільйонами молекул субстрату і сам при цьому не руйнується.

Завдяки ферменту біохімічні реакції можливі при дуже незначній концентрації речовини у клітині, що надзвичайно важливо, особливо в тих випадках, коли за допомогою ферментів організм позбавляється шкідливих речовин. Вже відомий вам фермент каталаза за одну секунду руйнує стільки ж молекул гідроген пероксиду, скільки за звичайних умов протягом 300 років.

Властивості ферментів. Кожний фермент каталізує лише певну реакцію. Слід зазначити, що він не визначає самої можливості реакції, а тільки прискорює її в мільйони разів, роблячи її швидкість «космічною». Подальше перетворення речовини, що утворилася внаслідок однієї ферментативної реакції, здійснює другий фермент, далі третій і т. д. У клітинах тварин і рослин містяться тисячі різних ферментів, тому вони не просто прискорюють тисячі хімічних реакцій, а й контролюють їхній перебіг.

Швидкість дії ферменту залежить від температури (найефективніша — близько +40 °С) і певних значень pH розчину, специфічного для конкретного ферменту. Для більшості ферментів значення pH лежить в межах від 6,6 до 8,0, хоча є і винятки. (*Пригадайте, при яких значеннях pH найкраще діють ті чи інші травні ферменти.*)

Підвищення температури до +50 °С призводить до руйнування активного центру ферменту і він назавжди втрачає можливість виконувати свої функції. Це зумовлено тим, що відбувається необоротне порушення третинної структури білка, і після охолодження молекула ферменту не відновлює своєї структури. Саме цим пояснюється, чому навіть нетривалий вплив високої



Мал. 130.
Схема взаємодії ферменту з субстратом

температури вбиває живі істоти. Проте існують організми, ферменти яких пристосувалися до високих температур. Наприклад, в Африці в гарячих джерелах з температурою води близько +60 °С живе і розмножується представник класу ракоподібних *термосбена дивовижна*, а деякі бактерії живуть навіть у водоймах, де температура води понад +70 °С.

Руйнування структури ферменту можуть спричинити отрути, що потрапляють до організму навіть у дуже незначній кількості. Ці речовини, які називаються **інгібіторами** (від лат. *інгібіо* — стримую), необоротно сполучаються з активним центром ферменту і таким чином блокують його діяльність.

Однією з найсильніших отрут, як відомо, є **ціаніди** (солі синільної кислоти HCN), що блокують роботу дихального ферменту **цитохромоксидази**. Тому навіть незначна кількість цієї речовини, потрапивши до організму, спричинює смерть від задухи. Інгібіторами є йони важких металів (Hg^{2+}, Pb^{2+}), а також сполуки Арсену, які утворюють сполуки з амінокислотами, що входять до активного центру ферменту.

Крім інгібіторів ферментів, існують і **активатори** (від лат. *активус* — діяльний), які значно підсилюють дію ферментів, а деякі «включають» ферменти. Одним із найбільш поширених активаторів є йони Mg^{2+}.

Слід наголосити, що ферменти можуть бути отрутою. Зокрема, отрута змій — це концентрат ферментів, які під час укусу потрапляють до кровоносної системи і починають швидко руйнувати речовини, з яких складаються клітини й тканини організму, або блокують роботу нервової системи.

Використання ферментів у практичній діяльності людини. При деяких захворюваннях у крові людини з'являються ферменти, яких немає в здоровому організмі. За наявністю чи підвищеною активністю цих ферментів за допомогою спеціальних кольорових реакцій можна не тільки діагностувати хворобу, але й визначити ступінь її важкості й контролювати перебіг. Відомо, наприклад, що при різноманітних ураженнях печінки в крові різко підвищується активність фосфатаз.

Ферменти як лікарські препарати успішно використовують у медицині. Завдяки ферментним препаратам можна значно покращити травлення, загоїти рани, врятуватися від гнійних процесів, позбутися післяопераційних фляків і спайок.

За допомогою ферментів генно-інженерними засобами «у пробірці» одержують багато біологічно активних речовин, а також лікарських препаратів. Ферменти використовують у виноробстві й пивоварстві, при обробці шкір, у хлібопекарській і хімічній промисловості.

Ферменти — біологічні каталізатори, без участі яких не відбувається жоден життєвий процес. Вони характеризуються здатністю: реагувати з певною речовиною — субстратом; прискорювати біохімічні реакції, які зазвичай йдуть дуже повільно; діяти при дуже незначних концентраціях субстрату, при цьому не потребуючи надходження енергії ззовні; функціонувати залежно від температури і pH середовища.

Біологічний каталіз відзначається надзвичайно високою ефективністю і здатністю ферментів чітко вирізняти речовину, з якою вони взаємодіють.

Перевірте себе

1. Що таке ферменти?
2. Як побудована молекула ферменту?
3. За яким принципом побудована сучасна класифікація ферментів?
4. Назвіть головні властивості ферментів.
5. Яким чином використовують ферменти в медичній практиці?

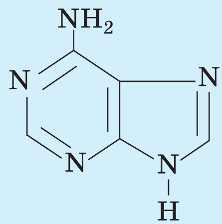
Як ви вважаєте?

1. Чому у мешканців водного середовища, температура якого становить понад +50 °С, ферменти захищені від перегріву?
2. Чи можуть ферменти за певних умов забезпечити хімічні перетворення, які не відбуваються у звичайних умовах?
3. Як ви думаєте, чому вислів «підходить як ключ до замка» став загальновживаним при поясненні механізму дії ферменту?

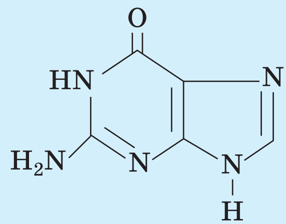
§25. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ І НУКЛЕОТИДИ

Терміни та поняття: нуклеїнова кислота, нуклеотиди, пурини (аденін, гуанін), піримідини (тимін, урацил, цитозин), рибоза, дезоксирибоза, нуклеозиди, макроергічні нуклеотиди і зв'язки, аденозинтрифосфатна кислота (АТФ), АДФ, АМФ, НАД, НАДФ.

Історична довідка. В 1868 р. швейцарський хімік Ф. Мішер з ядер клітин гною виділив раніше невідому речовину, яка містила Фосфор, мала кислотні властивості і не розкладалась під дією ферментів, що гідролізують білки. Пізніше ця речовина була знайдена в ядрах клітин усіх без винятку живих істот, а в 1889 р. німецький дослідник Р. Альтман (1852–1900) ввів у науковий обіг поняття **нуклеїнова** (від лат. *нуклеус* — ядро) **кислота**. У середині XX ст. виявили, що нуклеїнові кислоти виконують функції збереження, передачі та реалізації спадкової інформації.

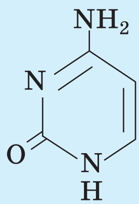


Аденін

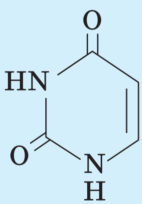


Гуанін

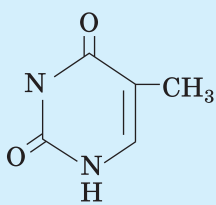
Мал. 132.
Пуринові основи — складові компоненти нуклеїнових кислот



Цитозин



Урацил



Тимін

Мал. 131.
Піримідинові основи — складові компоненти нуклеїнових кислот

Вагомий внесок у дослідження функцій нуклеїнових кислот зробив наш співвітчизник С.М. Гершензон, який один із перших довів, що нуклеїнові кислоти причетні до спадкової інформації. У ході експериментів мушок-дрозофіл поселяли в пробірки з живильним середовищем, в якому містилася велика кількість чистої ДНК. У таких пробірках виявився надзвичайно великий відсоток особин з генетичними порушеннями (мутаціями). Ці порушення не викликалися додаванням інших речовин (білків, вуглеводів, ліпідів, вітамінів). Тому було зроблено висновок, що саме нуклеїнові кислоти, зокрема ДНК, мають безпосереднє відношення до зберігання й передачі спадкової інформації.

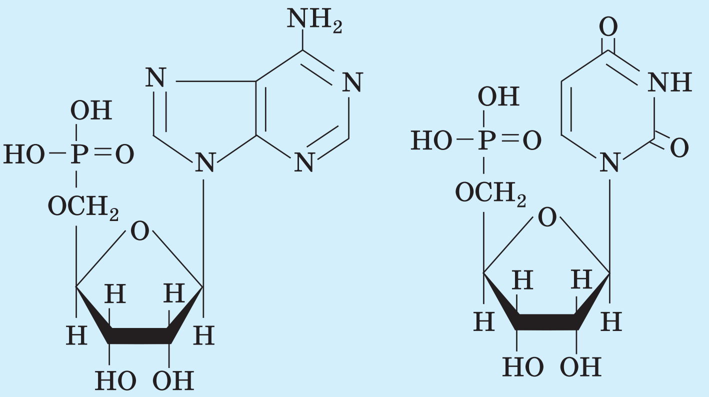
Що собою являють нуклеїнові кислоти. Нуклеїнові кислоти — це біологічні полімери, до складу яких, крім органогенних елементів (C, H, O, N), неодмінно входить Фосфор (P). Вони містяться в усіх живих організмах, а також вірусах. Нуклеїнові кислоти переважно зосереджені в ядрі клітини, у значно меншій кількості вони є і в цитоплазмі клітини та деяких органелах (мітохондріях і пластидах). Структурною одиницею нуклеїнових кислот є **нуклеотиди**.

Кінцевими продуктами гідролізу всіх нуклеїнових кислот є три групи речовин: *нітрогеновмісні основи* — гетероциклічні органічні сполуки, які містять Нітроген; *пентози* і *залишки ортофосфатної кислоти*, яка і визначає кислотні властивості нуклеїнових кислот.

Нітрогеновмісні основи — це органічні речовини зі складною циклічною структурою молекули, молекулярний скелет яких разом з Карбоном формує і Нітроген. Вони поділяються на два класи: однокільцеві — **піримідини** (*тимін, цитозин, урацил*) (*мал. 131*) і двокільцеві — **пурини** (*аденін, гуанін*) (*мал. 132*).

Пентози — моносахариди з п'ятьма атомами Карбону в молекулі: **рибоза** ($C_5H_{10}O_5$) та **дезоксирибоза** ($C_5H_{10}O_4$) (*мал. 133*).

Сполуки, молекули яких утворені залишком нітрогеновмісної основи і моносахаридом, називаються **нуклео-**



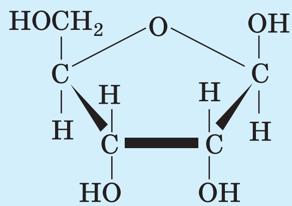
Аденозинмонофосфат (АМФ) Уридинмонофосфат (УМФ)

Мал. 134.
Мононуклеотиди — це структурні одиниці нуклеїнових кислот

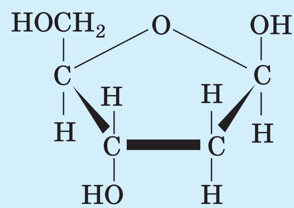
зидами. Вони є результатом реакції конденсації між цими двома сполуками, яка супроводжується виділенням молекули води. Назви нуклеозидів походять від назв нітрогеновмісних основ, які входять до їх складу (наприклад, нуклеозид, що містить аденін, називається аденозином). Якщо до нуклеозиду приєднується залишок ортофосфатної кислоти, то це і є мономер нуклеїнових кислот — **нуклеотид** (*табл. 7*). Він також утворюється за рахунок реакції конденсації між нуклеозидом і ортофосфатною кислотою. Відповідно і його назва також формується за тим самим принципом, що й нуклеотиду (*мал. 134*).

Таким чином, різноманітність нуклеотидів визначається складом їх молекули — структурою нітрогеновмісної основи і типом пентози. Це у свою чергу обумовлює їх різні фізичні і хімічні властивості, зокрема різну молекулярну масу і здатність утворювати різну кількість водневих зв'язків. Порядок розташування і число тих чи інших нуклеотидів у нуклеїновій кислоті визначає її унікальність і функціональні особливості.

Як утворюються полінуклеотиди. Полінуклеотиди, як і всі біологічні полімери, утворюються внаслідок реакції поліконденсації, тобто в реакціях, коли сполучення молекул супроводжується виділенням молекули води. При цьому фосфатний залишок одного нуклеотиду сполучається з моносахаридом іншого, внаслідок чого утворюється міцний фосфодіетерний ковалентний зв'язок. (*Подумайте, чому цей зв'язок називається діетерним.*) Іншими словами, залишок ортофосфатної кислоти слугує ніби ланкою, що з'єднує залишки моносахаридів сусідніх нуклеотидів. Ця реакція, яка спочатку відбувається між двома нуклеотидами і



D-рибоза

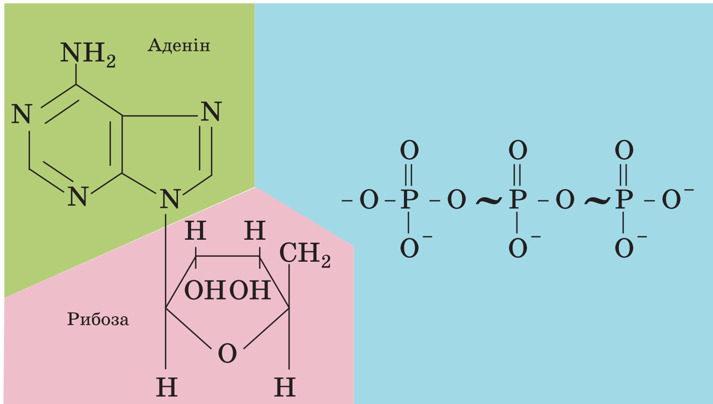


D-дезоксирибоза

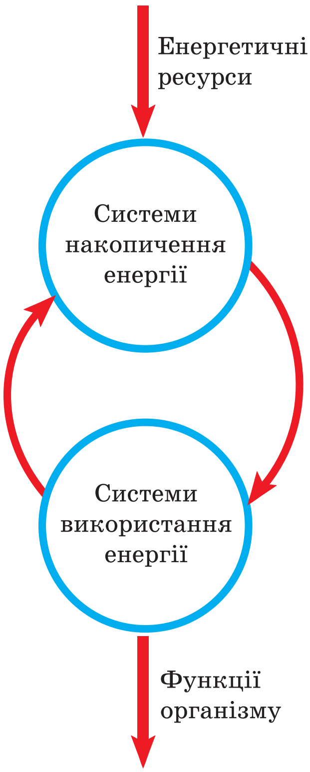
Мал. 133.
П'ятиатомні моносахариди — складові компоненти нуклеїнових кислот

Таблиця 7.

Нітрогеновмісна основа	Назва нуклеотиду/ позначення
Аденін	аденіновий/**А**
Гуанін	гуаніновий/**Г**
Тимін	тиміновий/**Т**
Урацил	урациловий/**У**
Цитозин	цитозиновий/**Ц**



Мал. 135.
Структурна формула молекули АТФ



Мал. 136.
Схема перерозподілу енергії у клітині, що відбувається за участю АТФ

приводить до утворення динуклеотида, потім може повторюватися тисячі і мільйони разів, у результаті чого формується довгий нерозгалужений молекулярний ланцюг — **полінуклеотид**, або, як його ще називають, нуклеїнова кислота.

Що таке вільні нуклеотиди. Крім нуклеотидів, що входять до складу нуклеїнових кислот, неодмінним компонентом будь-якої клітини є вільні нуклеотиди.

Перш за все це так звані **макроергічні** (від грец. *макро* — великий і *ергон* — діяльність, робота) нуклеотиди, до складу яких входить від одного до трьох залишків ортофосфатної кислоти, що послідовно сполучаються один з одним, утворюючи ланцюжки. Причому другий і третій залишки ортофосфатної кислоти приєднуються до нуклеотиду особливими зв'язками, у яких запасається енергія. Ці зв'язки називають макроергічними і позначаються значком «~». Найпоширенішим серед макроергічних нуклеотидів є **аденозинтрифосфат (АТФ)** (*мал. 135*), частка якого у масі клітини становить до 0,5 %. Саме він відіграє ключову роль у клітинних перетвореннях енергії.

АТФ складається з аденіну, рибози і трьох залишків ортофосфатної кислоти та здійснює функцію акумулятора енергії в клітині. Будь-яка хімічна реакція, що потребує витрат енергії, пов'язана з відщепленням одного залишку ортофосфатної кислоти в молекулі АТФ і перетворення її на **аденозиндифосфат (АДФ)** (*мал. 136*), а якщо організм особливо потребує енергії, то молекула АДФ може перетворюватись на аденозинмонофосфат **(АМФ)**. Накопичення енергії в клітині, навпаки, відбувається у зворотному порядку АМФ → АДФ → АТФ.

У кожній клітини є також нуклеотиди, що виконують функції коферментів. **НАД (нікотинамідаденіндинуклеотид)** входять до складу ферментів, які каталізують окисно-відновні реакції (*пригадайте, до якого класу*

ферментів вони належать), виконуючи функції перенесення електронів. Ще один ключовий кофермент-нуклеотид — **НАДФ (нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат)**, який, на відміну від першого, містить ще один залишок ортофосфатної кислоти, також бере участь в окисно-відновних процесах, що відбуваються в клітинах.

Нуклеїнові кислоти, або полінуклеотиди, — біологічні полімери, мономерами яких є нуклеотиди, що складаються з нітрогеновмісної основи, пентози і залишку ортофосфатної кислоти. Нуклеотиди є незмінними компонентами цитоплазми будь-якої клітини, вони входять до складу ферментів і утворюють макроергічні сполуки, серед яких АТФ — ключова речовина, що бере участь у перетвореннях енергії в клітині.

Перевірте себе

1. До якої групи біологічних молекул належать нуклеїнові кислоти?
2. Які хімічні елементи неодмінно містяться у молекулі нуклеїнової кислоти?
3. У чому полягає трикомпонентність будови нуклеотиду?
4. Які зв'язки називають макроергічними?
5. Чому АТФ називають акумулятором енергії в клітині?
6. Вкажіть відмінність у будові НАД та НАДФ.

Як ви вважаєте?

1. Чому в молекулах нуклеїнових кислот містяться пентози, а не гексози?
2. Чому саме аденін, а не інша нітрогеновмісна основа входить до складу АТФ?

§26. РІЗНОМАНІТНІСТЬ НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ. ТИПИ РНК

Терміни та поняття: дезоксирибонуклеотиди, дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК), рибонуклеотиди, рибонуклеїнові кислоти (РНК): рибосомальна (рРНК), транспортна (тРНК) та інформаційна (іРНК).

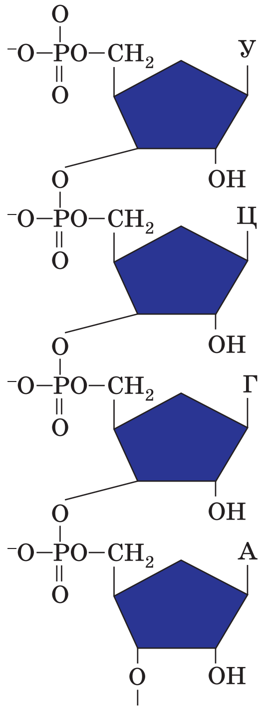
Якими бувають нуклеїнові кислоти. Дослідження хімічної структури молекул і розподілу нуклеїнових кислот у клітині показали, що в різних її частинах і органелах зустрічаються молекули різної структури й розмірів. Більшість полінуклеотидів, зосереджених у ядрі, побудовані з мономерів на основі моносахариду дезоксирибози і являють собою величезні молекули, що складаються з мільйонів нуклеотидів. Для них характерні чотири типи

нуклеотидів (А, Т, Г, Ц) (*табл. 7*) і лінійна дволанцюгова структура. Оскільки ці макромолекули мають властивості кислот і побудовані з **дезоксирибонуклеотидів**, то вони отримали назву **дезоксирибонуклеїнова кислота**, або **ДНК**.

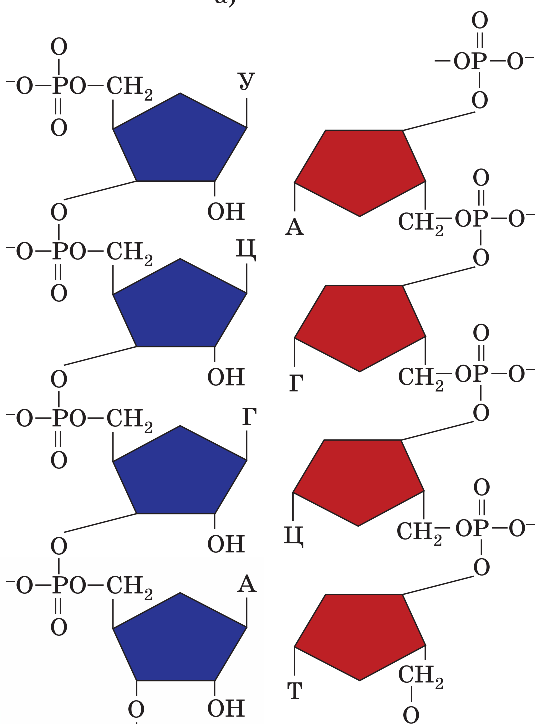
У цитоплазмі клітин усіх організмів без винятку знаходяться більш різноманітні, ніж в ядрі, полінуклеотиди. Крім ДНК, якої поза ядром зовсім небагато, тут зосереджені полінуклеотиди, побудовані на основі рибози **(рибонуклеотиди) — рибонуклеїнові кислоти (РНК)**. До їх складу також входять чотири типи нуклеотидів, але в них тимін заміщений урацилом. Крім того, молекули РНК набагато дрібніші (від 75 до кількох тисяч нуклеотидів) і мають одноланцюгову структуру. Через те, що до складу РНК входить рибоза, у якої на одну гідроксильну групу більше, то РНК легше гідролізується і є менш стабільною, ніж ДНК. РНК може міститися й у вірусах, але розміри цих молекул набагато більші, ніж у клітинах — 20–25 тис. нуклеотидів, причому РНК вірусів іноді може мати дволанцюгову структуру.

Таким чином, між ДНК і РНК (*мал. 137*), що містяться в клітинах організмів, існує три головні відмінності:

- ДНК містить дезоксирибозу, РНК — рибозу;
- ДНК складається з нуклеотидів А, Т, Г, Ц, а РНК — з А, У, Г, Ц, тобто тимін заміщений урацилом;
- Молекули ДНК являють собою величезні дволанцюгові молекули, що складаються з мільйонів нуклеотидів. Молекули ж РНК — одноланцюгові, набагато коротші і складаються з нуклеотидів, кількість яких коливається від десятків до тисяч.



а)



б)

Якими бувають РНК. Дослідження показали, що у клітинах всіх живих організмів обов'язково є РНК трьох основних типів і всі вони беруть участь в одному процесі — біосинтезі білка, здійснюючи ті або інші його етапи. Близько 90 % РНК перебувають у цитоплазмі, інша частина — в ядрі.

Рибосомальна РНК (рРНК). Вміст рРНК у клітині найбільший і становить 75–85 % цієї речовини клітини. Міститься вона у клітині у вигляді солі Магнію. Насправді

Мал. 137.

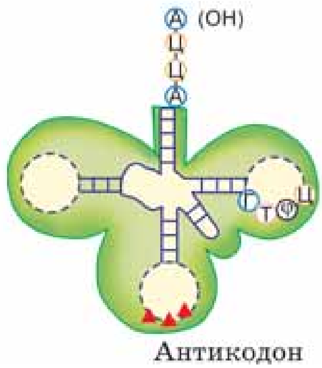
Порівняльні схеми будови фрагментів молекул: *а* — РНК; *б* — ДНК

рРНК — це не одна молекула, а сукупність молекул декількох типів з різною кількістю нуклеотидних залишків (від 1,5–2 до 2,5–4 тисяч).

Подібно до білків, молекули рРНК формують складну тривимірну структуру і мають унікальну властивість — каталізують хімічні реакції. Цей тип РНК є основною речовиною **рибосом** — особливих органел клітини, в яких відбувається біосинтез білка. Молекули рРНК утворюють із рибосомальними білками сполуки — **нуклеопротеїди**. Синтезується рРНК у чітко визначених ділянках ядра — ядерцях.

Транспортна РНК (тРНК). Найменші за розмірами молекули РНК, що нараховують від 70 до 90 нуклеотидів. Становлять 15 % загальної маси РНК клітини. Усього ж відомо понад 80 видів тРНК. Тривимірна структура вигадлива, специфічна й стабільна — за формою нагадує листок конюшини (*мал. 138*). Призначена тРНК для транспортування амінокислот, задіяних у біосинтезі певного білка, причому на кожну з 20 амінокислот припадає одна і більше видів тРНК.

Інформаційна РНК (іРНК), або **матрична РНК (мРНК).** Питома вага серед різних типів РНК — 1–5 %. Молекули іРНК містять від 100 до 6000 залишків нуклеотидів. Синтезується, як і всі інші РНК, у ядрі, де її концентрація найвища. Має ниткоподібну форму. Молекули іРНК нестійкі й у цитоплазмі швидко розпадаються. Свою назву іРНК отримала через те, що в ній певним чином закодована інформація про послідовність амінокислот у білках, і за нею, як за матрицею, йде біосинтез білків. Зважаючи на те, що кожному виду білка чітко відповідає свій тип іРНК, то цей тип РНК є найрізноманітнішим. Масштаби цієї різноманітності можна оцінити, якщо врахувати, що в одній клітині може синтезуватися близько однієї тисячі білків.



Мал. 138.
Схема будови молекули *транспортної РНК* (так званий «кленовий листок»)

!

Нуклеїнові кислоти поділяються на два типи. Молекули РНК містять моносахарид рибозу, чотири типи нітрогеновмісних основ (А, У, Г, Ц), мають відносно невеликі розміри, складаються з одного ланцюга і зосереджені головним чином у цитоплазмі клітини. Тоді як ДНК побудована з дезоксирибонуклеотидів, замість урацилового нуклеотиду має тиміновий, представлена подвійними (дволанцюговими) молекулами, що складаються з мільйонів пар нуклеотидів, і міститься головним чином у ядрі.

Виділяють три основних типи молекул РНК, які відрізняються розмірами, просторовою формою і роллю у біосинтезі білка.

Перевірте себе

1. За якими ознаками нуклеїнові кислоти поділяють на дві великі групи?
2. У якому ключовому біохімічному процесі задіяні всі види РНК?
3. У чому полягають особливості будови й функціонування молекул іРНК, рРНК, тРНК?

Як ви вважаєте?

1. За своєю хімічною формулою тимін — це 5-метилурацил. Які властивості молекулам ДНК, порівняно з РНК, додає те, що в їх молекулах урацил заміщений похідною сполукою, яка відрізняється тільки наявністю додаткової метильної групи?
2. Які особливості будови рРНК дозволяють їй здійснювати функцію біологічного каталізатора?

§27. БУДОВА І ФУНКЦІЯ ДНК

Терміни та поняття: генетична трансформація, правила Чаргаффа, модель подвійної спіралі, комплементарність, хроматин, плавлення ДНК.

Історичні етапи вивчення структури і функцій ДНК. Роль ДНК у клітині та її молекулярна просторова будова залишалися таємницею для декількох поколінь учених і тільки в середині XX ст. ці загадки вдалося розгадати.

1. ДНК — зберігач генетичної інформації. Питання про речовину, з якої побудовані гени, залишалося нез'ясованим аж до 40-х років XX ст. До того вважали, що роль речовини-носія спадковості відіграють якісь особливі білки, що містяться у ядрі. Адже серед біологічних молекул саме білки, як ніякі інші, мають різноманітну будову, а тому, як здається на перший погляд, можуть забезпечити успадкування величезної кількості ознак і функцій, властивих будь-якому організму. ДНК, як тоді вважалося, не могла мати до цих механізмів безпосереднього відношення, оскільки її будова занадто одноманітна, а тому їй було відведено роль зберігача фосфору в клітині.

Перші дослідження, що довели генетичну значимість ДНК, були проведені на найпростіших організмах — бактеріях і полягали в обробці безпечних для мишей бактерій розчином ДНК, виділеної з колоній хвороботворних. У результаті нешкідливі мікроорганізми ставали патогенними й починали викликати в піддослідних тварин хвороби, які раніше не були їм властиві. Причому ця новоутворена особливість мікро-

організмів стала передаватися з покоління в покоління, тобто виявилася спадково закріпленою. Ці дослідження були проведені в 1944 р. американським вченим **О. Ейвері** (1877–1956) з колегами. Пізніше зміни генетичних властивостей клітин шляхом введення в них чужорідної ДНК, що дістало назву **генетична трасформація** (від лат. *трансформаціо* — перетворення), були отримані спочатку у тварин, а згодом — у рослин. Таким чином було доведено, що ДНК — це біополімер, призначений для зберігання й передачі спадкової інформації.

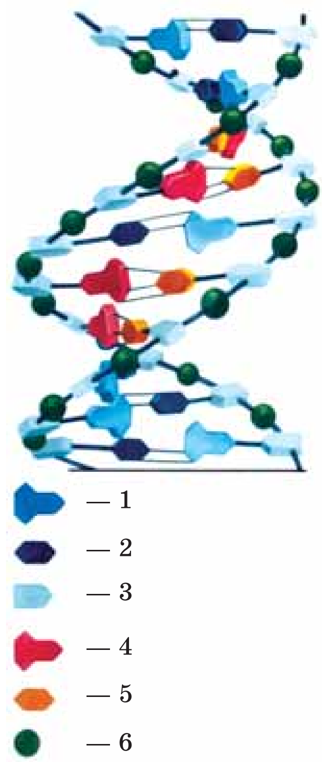
Незвичайні рослини можна одержати, якщо, наприклад, насіння гарбуза вимочити в розчині ДНК, виділеної з насіння кавуна. З такого насіння виростуть гібридні рослини, які дадуть нащадків з різними ознаками й дивовижними властивостями: величезні плоди — зелені й смугасті, як кавун, з м'якоттю, як у гарбуза, з кісточками такими ж чорними, як у кавуна, і великими, як у гарбуза.

2. Правила Чаргаффа. Дослідження нуклеотидного складу ДНК різних видів організмів, а також пошук кількісних закономірностей у співвідношеннях різних нуклеотидов були розпочаті в 1949–1951 рр. групою дослідників, очолюваних Е. Чаргаффом (1905–2002), які працювали в США. Вони дозволили виявити правила, подібні до яких не вдавалося сформулювати для жодного біополимера, у тому числі й для молекул РНК. Кількісні співвідношення між різними типами нітрогеновмісних основ у ДНК, встановлені вченими, дістали назву **правил Чаргаффа**, за якими у молекулах ДНК:

- кількість аденіну дорівнює кількості тиміну (А = Т), а кількість гуаніну — кількості цитозину (Г = Ц);
- кількість пуринів дорівнює кількості піримідинів: А + Г = Т + Ц або (А + Г/Т + Ц = 1);
- кількість основ із шістьма аміногрупами дорівнює кількості основ із шістьма кетогрупами: А + Ц = Г + Т (А + Ц/Г + Т = 1).

Спроба ж установити константу в співвідношенні (А + Т)/(Г + Ц) не увінчалася успіхом. Виявилося, що співвідношення числа пар нуклеотидів АТ з одного боку і ГЦ з іншого змінюється залежно від виду організму. Пізніше, в 1962 р. російський біохімік А.Н. Бєлозерський (1905–1972) довів, що це співвідношення є специфічним для різних систематичних груп. Так, ДНК тварин і рослин завжди містить більше АТ основ, ніж ГЦ, тоді як у бактерій можуть бути різноманітні варіанти. Ці закономірності свідчили про те, що молекули ДНК мають подвійну структуру.

3. Відкриття подвійної спіралі. Фактами, що сприяли розкриттю таємниці просторової структури ДНК, були не тільки дані про співвідношення нуклеотидних основ, але й дані рентгеноструктурного аналізу

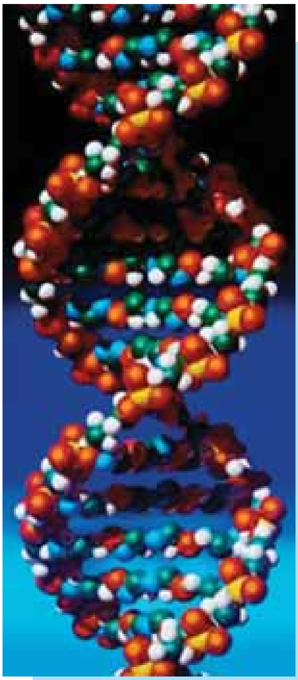


Мал. 139.
Модель ДНК за Вотсоном та Кріком:
1 — аденін;
2 — тимін;
3 — дезоксирибоза;
4 — гуанін;
5 — цитозин;
6 — залишок ортофосфатної кислоти

кристалів натрієвої солі ДНК. На цих рентгенограмах, отриманих англійськими фізиками **М. Уілкінсом** (1916–2004) і **Р. Франклін** (1921–1958), можна було побачити, що ДНК має спіральну структуру. Однак честь відкриття структури ДНК належить двом іншим англійським ученим — **Д. Вотсону** і **Ф. Кріку**. Вони змогли першими створити достовірну модель ДНК і опублікували її в журналі «Nature» в 1952 р. Зараз її прийнято називати **модель подвійної спіралі** (*мал. 139*). Ця модель вдало поєднувала в собі дві виявлені на той час особливості: спіральну форму молекули і її подвійну будову.

Головні принципи моделі такі: • молекула ДНК складається з двох паралельних ланцюжків і нагадує собою довгу драбину; • основи ланцюжків утворені переплетеними вуглевод-фосфатними ланцюгами, а нітрогеновмісні основи розташовані усередині й утворюють сходинки цієї «драбини»; • ця «драбина» за формою є спіраллю.

Розшифрування структури ДНК стало одним із поворотних моментів у історії біології. За відкриття «молекулярної структури нуклеїнових кислот і їх значення для передачі інформації в живих системах» троє дослідників — Д. Вотсон, Ф. Крік і М. Уілкінс у 1962 р. були удостоєні Нобелівської премії. Ще один фактичний першовідкривач молекулярної структури ДНК — Розалінда Франклін, яка отримала при проведенні досліджень високі дози рентгенівського опромінення, померла за чотири роки до визнання.



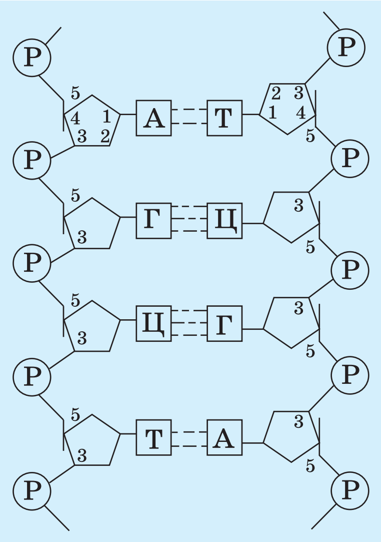
Мал. 140. Сучасна тривимірна комп'ютерна модель ДНК

Сучасні уявлення про структуру ДНК. Як і білки, ДНК має первинну структуру — просту послідовність нуклеотидів і більш високий рівень організації — тривимірну просторову структуру.

Зараз основні положення моделі Вотсона й Кріка про молекулярну організацію ДНК підтвердилися (*мал. 140*), а ключові моменти, що характеризують тривимірну просторову структуру молекули ДНК, виглядають таким чином:

- молекула ДНК складається із двох полінуклеотидних ланцюгів, при цьому кожний з них закручений вправо навколо однієї й тієї самої осі, утворюючи подвійну спіраль. Діаметр спіралі ДНК дорівнює $2 \cdot 10^{-9}$ м, а відстань між сусідніми нуклеотидами — $0{,}34 \cdot 10^{-9}$ м. На один виток спіралі припадає 10 нуклеотидів;
- ланцюги ДНК побудовані із залишків дезоксирибози, сполучених дифосфоетерними містками; ланцюги спрямовані в різні боки, тобто один ланцюг має 3–5 послідовностей диетерних зв'язків, другий — 5–3;
- полінуклеотидні ланцюги з'єднані між собою вод-

невими зв'язками, що виникають між нітрогеновмісними основами різних ланцюгів, розміщених один навпроти іншого. Між аденіном і тиміном утворюються два водневих зв'язки (А = Т) (*мал. 141*), а між гуаніном і цитозином — три (Г ≡ Ц). Водневі зв'язки дуже слабкі, але завдяки багаторазовій повторюваності вони утворюють надміцну структуру, яка водночас є лабільною, що надає спіралі ДНК можливість легко розкручуватися, а потім знову швидко відновлювати дволанцюгову структуру;



Мал. 141. Утворення водневих зв'язків між нуклеотидами різних ланцюгів ДНК

- молекули А-Т і Г-Ц, так само як і дві частини одного розбитого блюдця, геометрично доповнюють одна одну. Здатність доповнювати, властива поверхням деяких хімічних сполук, називається **комплементарністю** (від лат. *комплементум* — доповнення). Отже, якщо на певній ділянці ланцюга послідовно розташовані нуклеотиди А, Т, Г, Ц, то на його протилежній ділянці, за принципом комплементарності, — Т, А, Ц, Г;
- на послідовність нуклеотидів молекули, а також на довжину ланцюга не існує жодних обмежень.

Таким чином, модель подвійної спіралі обґрунтовує еквівалентність числа нітрогеновмісних основ у молекулі ДНК (правило Чаргаффа), а також дозволяє пояснити, яким чином зберігається стала кількість молекул ДНК при поділах клітин.

Як показали спеціальні розрахунки, довжина молекули ДНК в клітині людини в нормальному стані становить близько 8 см. Звідси природно виникає питання: яким же чином така довга молекула укладається в клітинне ядро, яке можна розглянути лише під мікроскопом. Виявляється, в ядрі клітини ДНК містяться в суперспіралізованому (суперскрученому) стані і на один виток спіралі може припадати набагато більше, ніж 10 нуклеотидів. Крім того, перебуваючи у ядрі, ДНК взаємодіє з білками, які мають лужні властивості й утворюють речовину — **хроматин**, що в ядрі укладається певним способом: на зразок того, як намотується нитка на котушку.

Плавлення ДНК. Під впливом високих температур або інших сильнодіючих факторів ДНК, як і білок, втрачає притаманну їй тривимірну просторову форму і розпадається на одинарні ланцюги. Цей процес відбувається при температурі +70 °С — значно вищій від температури денатурації білків, і тому називається **плавленням**. Після зниження температури вихідна структура ДНК повністю відновлюється.

ДНК — біополімер, призначений для зберігання й передачі спадкової інформації. Молекула ДНК має форму спіралі, що складається з двох рядів різноспрямованих полінуклеотидів, сполучених водневими зв'язками між А—Т і Г—Ц парами нітрогеновмісних основ, які на різних ланцюгах ДНК доповнюють один одного за принципом комплементарності. Відкриття структури ДНК є одним із найвизначніших етапів у розвитку сучасної науки і, як вважають багато вчених, чи не головним відкриттям XX ст. у біології.

Перевірте себе

1. Яким чином було доведено, що ДНК є носієм генетичної інформації і яке явище лежить в основі цього процесу?
2. Які головні положення моделі подвійної спіралі ДНК?
3. Що таке комплементарність?
4. Назвіть правила Чаргаффа.

Як ви вважаєте?

1. З'ясовано, що в ДНК еволюційно більш розвинутих організмів міститься більше А–Т і менше Г–Ц пар. Чим можна пояснити цей факт?
2. Чому відкриття геометричної структури молекули ДНК вважають одним із найвидатніших успіхів сучасної біології?
3. Які ще відкриття у біології XX ст., на вашу думку, можна поставити в один ряд із відкриттям структури ДНК?
4. Чому, на відміну від білків, ДНК здатна відновлювати свою вихідну просторову структуру?

§28. БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ: ВІТАМІНИ Й ГОРМОНИ

Терміни та поняття: біологічно активні речовини, вітаміни, провітаміни, а-, полі-, гіпо-, гіпервітамінози, кобаломіни, вітаміноподібні речовини, антивітаміни, гормони, гормоноїди, фактори росту, простагландини, фітогормони.

Що таке біологічно активні речовини. Хімічні сполуки, які утворюються в клітині, можна розділити на дві групи: речовини, що мають біологічну активність і виконують певні функції, й метаболіти — низькомолекулярні речовини, які є побічним або кінцевим продуктом хімічних реакцій і підлягають виведенню з організму. (*Пригадайте, які функції в організмі людини виконують такі сполуки, як CO_2, H_2S, NH_3 та ін.*)

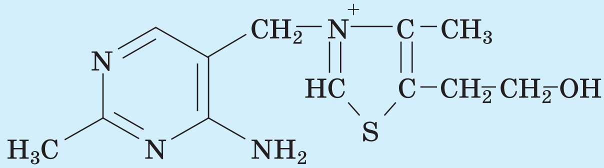
Теоретично більшість біомолекул можна назвати речовинами, що мають біологічну активність. Усі вони, за винятком сполук, що є проміжними стадіями

біологічного синтезу або розкладу, відіграють свою особливу біологічну роль у клітині й мають в організмі певне функціональне призначення. Однак на практиці **біологічно активними речовинами** називають продукти біологічного синтезу, що у мізерно малій концентрації виявляють фізіологічний ефект. За своєю хімічною природою це — різноманітні органічні сполуки від простих низькомолекулярних, таких як етилен, до невеликих поліпептидів і величезних протеїдів.

До універсальних біологічно активних речовин, властивих усім живим організмам без винятку, належать ферменти, вітаміни й гормони. Інші біологічно активні речовини властиві представникам окремих систематичних груп або просто конкретним видам тварин, рослин, грибів, бактерій. При цьому, незважаючи на їх значну біологічну активність, їх роль і значення в організмі, в якому вони утворюються, як правило, залишаються дискусійними.

Вітаміни (від лат. *віта* — життя і *аміни*) — група низькомолекулярних речовин органічної природи, які в мізерно малих кількостях необхідні для нормального функціонування всім живим істотам без винятку. Вітаміни синтезуються рослинами, а тому тварини їх отримують або безпосередньо з рослинною їжею, або опосередковано — через тваринну їжу (молоко, м'ясо, яйця). Багато вітамінів надходять в організм у вигляді **провітамінів** (від грец. *протос* — перед і *вітаміни*) — вихідних речовин, з яких утворюються вітаміни. Деякі вітаміни синтезуються в кишечнику бактеріями, які у нормі там обов'язково присутні. Тому будь-які порушення бактеріального складу кишечнику, його мікрофлори завжди негативно позначається на здоров'ї.

Вітаміни було відкрито в 1880 р. російським лікарем Н.І. Луніним (1854–1937). Він досліджував дві групи мишей, одній з яких давав тільки окремі компоненти молока в чистому вигляді (воду, казеїн, лактозу, жири, солі), а другій — натуральне молоко. Не більш як за місяць усі тварини першої групи загинули. Таким чином вчений довів, що для нормального життя тваринам необхідні ще й невідомі речовини, які наявні у природних продуктах харчування в дуже малій кількості. В 1889 р. голландський лікар Х. Ейкман (1858–1930) встановив, що у людей і птахів, які споживають очищений рис, неминуче розвивається хвороба «бері-бері», а тому в їжу необхідно додавати й неочищений рис. У 1906 р. англійський біохімік Ф. Хопкінс (1961–1947) назвав речовини, що захищають тварин й людину від подібних захворювань, «додатковими речовинами харчування» (accessorial factors). І нарешті, в 1911 р. польський учений К. Функ (1884–1967) виділив із рисових висівок ту



Мал. 142.

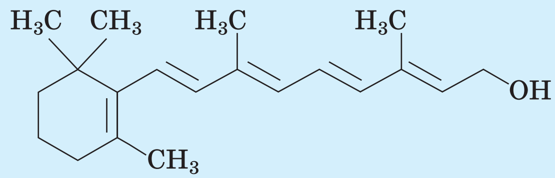
Хімічна формула *вітаміну B₁*

саму речовину (вітамін B_1) (*мал. 142*), давши їй назву **вітамін**, дослівно — «амін, необхідний для життя». Саме він першим висловив припущення, що багато хвороб, пов'язаних зі збідненим на поживні речовини й одноманітним харчуванням (рахіт, цинга, пелагра та ін.), викликані відсутністю цих самих речовин. Ця назва збереглася навіть незважаючи на те, що згодом стало очевидним, що аміногрупи входять до складу далеко не всіх вітамінів. У 1929 р. Хопкінс і Ейкман за відкриття вітамінів одержали Нобелівську премію. На жаль, відкриття Луніна вже за його життя було віддано забуттю на довгі десятиліття навіть співвітчизниками.

Вітаміни є регуляторами обміну речовин, більша їх частина входить до складу ферментів (формуючи коферменти), а інші взаємодіють із гормонами, активують їх. За ступенем насичення організму вітамінами виділяють кілька хворобливих станів: **авітаміноз** (від грец. *а* — без і *вітаміни*) — хворобливий стан організму, викликаний браком певного вітаміну; **поліавітаміноз** (від грец. *полі* — багато й *авітаміноз*) — нестача багатьох вітамінів; **гіповітаміноз** (від грец. *гіпо* — знизу і *вітаміни*) — недостатня кількість, що викликає загальне нездужання, й **гіпервітаміноз** (від грец. *гіпер* — зверху і *вітаміни*) — надлишкова кількість, що також призводить до функціональних розладів. При збалансованому харчуванні такі патологічні стани не спостерігаються.

У часи, коли хімічна структура молекул вітамінів була невідома, їх класифікували як певні хімічні «чинники» за їх фізіологічним ефектом, даючи їм літерні позначення A, B, C, D, E, F і т. д. Згодом з'ясувалося, що до одного й того самого фактора належать зовсім різні хімічні сполуки й для того, щоб відрізнити ці речовини, додатково ввели ще й цифрові позначення. Звідси й з'явилися назви B_1, B_5, B_6, K_1, K_2, K_3 та ін.

Ця традиційна класифікація збереглася й у наші дні, незважаючи на те, що на сьогодні вже відомі формули переважної більшості всіх вітамінів. Тому, напевно, їх легко можна було б систематизувати за будовою молекул. Проте у медичній практиці продовжують використовувати класифікацію, що історично склалась, оскільки вітаміни дуже різноманітні і належать до широкого спектра орга-



Мал. 143.
Хімічна формула *вітаміну А*

нічних сполук, а отже їх хімічна класифікація буде вкрай громіздкою і, з погляду на фізіологічний ефект, малозрозумілою. Зараз вітаміни поділяють на дві великі групи: водорозчинні, які беруть участь в обмінних процесах і входять до складу ферментів, і жиророзчинні (*табл. 8*). Роль останніх в організмі вивчена набагато гірше.

На цей час біохіміками описано понад 30 вітамінів.

Вітамін А (*мал. 143*) сприяє нормальному зору, активізує обмін речовин, прискорює ріст. Його особливо багато у вершковому маслі й соняшниковій олії (*подумайте, чому*), яєчному жовтку, риб'ячому жирі. У рослинах (зеленій цибулі, зеленому горошку, салаті, моркві, абрикосах та ін.) він міститься у вигляді **провітаміну А** — жовтого чи жовтогарячого пігменту *каротину* (від лат. *карота* — морква), який в організмі людини перетворюється на вітамін А.

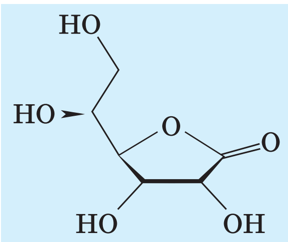
Вітамін B_1 необхідний для нормального обміну речовин, особливо вуглеводів. На цей вітамін багаті дріжджі, гречана й вівсяна крупи, борошно грубого помолу, особливо важливий цей вітамін при великому фізичному і розумовому навантаженні (*учням і студентам під час іспитів і підготовці до тестування*).

Таблиця 8. Основні вітаміни, необхідні людині

Назва вітаміну	Речовина	Функціональне значення дефіциту
Водорозчинні вітаміни		
Вітамін B_1	тіамін	відсутність вітаміну викликає порушення діяльності нервової системи й хворобу «бері-бері»
Вітамін B_2	рибофлавін	дефіцит є причиною припинення росту в молодих тварин
Вітамін PP	нікотинова кислота	відсутність вітаміну викликає хворобу пелагру
Вітамін B_5	пантотенова кислота	необхідний для обміну жирів, вуглеводів, амінокислот, синтезу життєво важливих жирних кислот, холестерину
Вітамін B_6	піриндоксин	бере участь в утворенні еритроцитів, проведенні нервових сигналів, в обміні білків і ліпідів

Продовження таблиці

Вітамін B_{12}	ціанокобаламін	його дефіцит може бути причиною анемії
Вітамін B_9	фолієва кислота	може викликати анемію у вагітних жінок
Вітамін C	аскорбінова кислота	відсутність вітаміну викликає цингу
Вітамін P	біофлавоноїд	зміцнює капіляри, сприяє поліпшенню кровообігу
Вітамін H	біотин	дефіцит вітаміну призводить до втрати апетиту, слабкості, сонливості, анемії, до вповільнення росту
Жиророзчинні вітаміни		
Вітамін A	ретинол	стимулює роботу імунної системи, звільняє організм від вільних радикалів, сприяє запобіганню катаракти
Вітамін D_2 Вітамін D_3	ергокальциферол холекальциферол	дефіцит вітаміну призводить до рахіту
Вітамін E	токоферол	вітамін розмноження
Вітамін K	нафтохінон	запобігає крововиливу із судин у тканини
Вітамін K_1 Вітамін K_2	філохінон менахінон	запобігає крововиливу



Мал. 145.
Хімічна формула *вітаміну C*

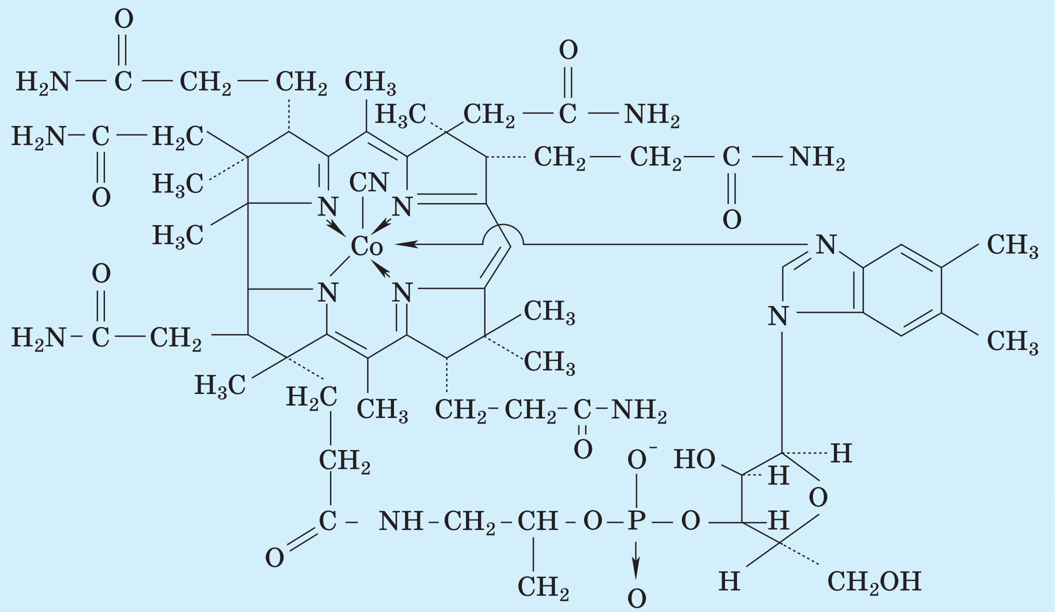
Вітамін B_2 також потрібний для нормального обміну білків і вуглеводів, він сприяє загоєнню ран, стимулює ріст. Найбільше його міститься в молочних продуктах, дещо менше — в овочах.

Вітамін B_{12} (*мал. 144*) за своєю будовою відрізняється від інших вітамінів і належить до біокоординаційних сполук (до цієї групи відносяться й інші металовмісні макромолекули: гемоглобін і хлорофіл, а також ряд ферментів). У складі молекули цього вітаміну є іон Кобальту, який сполучається чотирма особливими координаційними зв'язками з атомами Нітрогену, що входять до складу аміногруп. Звідси й пішла назва цієї групи сполук — **кобаламіни**. Відіграє важливу роль у процесі кровотворення, протидіє розвитку анемії, забезпечує нормальне функціонування нервової системи. Багато цього вітаміну в рибі, м'ясі, молоці, сирі, яєчному жовтку.

Вітамін C (*мал. 145*) відіграє важливу роль в обміні речовин. Його джерелом є, головним чином, різні плоди й овочі, особливо капуста. Багато вітаміну міститься в плодах шипшини, ягодах чорної смородини, червоному перці й обліписі. Вітамін C руйнується за високої температури, тому краще їсти свіжі овочі та фрукти.

Ще однієї групою речовин, що виконують аналогічні з вітамінами функції, є **вітаміноподібні речовини**, але, на відміну від справжніх вітамінів, їх дефіцит не призводить до явно виражених порушень обміну речовин і захворювань. До цієї групи сполук, наприклад, належать вітаміни B_4 (холін), B_{13}, B_{15}, H_1 та ін. Вони активізують роботу печінки, беруть участь в обміні ліпідів і утворенні пігментів.

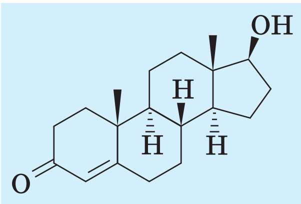
Є речовини, за своєю дією протилежні вітамінам, — це **антивітаміни** (від грец. *анти* — проти і *вітаміни*), причому для кожного вітаміну відомий свій антивітамін. Хімічні формули цих сполук практично не відрізняються від формул відомих вітамінів, а тому здатні їх заміняти, хоча при цьому виявляють зовсім іншу біологічну дію. У результаті антивітаміни гальмують і порушують нормальний хід обміну речовин. При потраплянні до організму з їжею великої кількості антивітамінів виникає стан, близький до авітамінозу, причому навіть у тих випадках, коли певний вітамін у надлишковій кількості надходить з їжею або нормально утворюється в самому організмі. За сучасними даними ці речовини містяться в овочах і фруктах, зокрема в огірках, кольоровій капусті, гарбузі, знайшли їх також у каві. Можна припустити, що ці сполуки невипадково є нормальними речовинами клітин. Є підстави вважати, що вони нібито компенсують можливий надлишок вітамінів і є їх природними антагоністами.



Мал. 144.

Хімічна формула біокоординаційної сполуки — *вітаміну* B_{12}

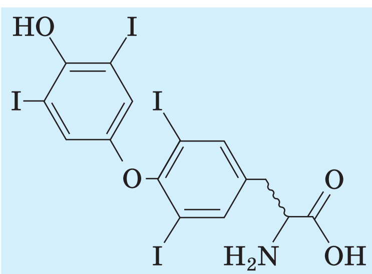
Гормони (від грец. *гормао* — збуджую, спонукаю до руху) у широкому розумінні — це сигнальні речовини різноманітної хімічної природи, що виробляються клітинами організму і діють на інші клітини цього ж організму. Такі неспецифічні гормони ще називають **гормоноїдами** (від *гормон* і грец. *еідос* — вигляд), або «гормоноподібними речовинами». Вони утворюються в усіх багатоклітинних організмів.



Мал. 146. Структурна формула *тестостерону* — головного статевого гормону чоловіків

Гормони у вузькому розумінні (власне гормони) властиві тільки високоорганізованим багатоклітинним тваринам. Це біологічно активні речовини регуляторної природи, які мають вузькоспрямовану дію, вони виробляються специфічними клітинами або залозами. Гормони є високо- специфічними, оскільки клітини, на які спрямована їх дія, на своїй поверхні мають спеціальні ділянки — рецептори, які взаємодіють з молекулами певних гормонів. Саме тому гормони здатні діяти за надзвичайно низької концентрації. У хребетних тварин вони виробляються в залозах внутрішньої секреції, током крові переносяться по тілу, отже мають чітко виражену дистанційну дію.

За своєю хімічною природою гормони хребетних тварин, у тому числі й людини, поділяються на три групи. Гормони білкової природи синтезуються в гіпоталамусі, гіпофізі й підшлунковій залозі. (*Пригадайте, як називаються гормони цих залоз і яке їх функціональне призначення.*) Стероїдні гормони — похідні холестерину, продукуються в клітинах коркового шару надниркової залози, а жіночі й чоловічі статеві гормони (*мал. 146*) — у статевих залозах. Третю групу становлять гормони — похідні амінокислоти тирозину, вони синтезуються в мозковому шарі надниркової залози й у щитовидній залозі (*мал. 147*). (*Пригадайте, які гормони виробляються в щитовидній залозі.*)



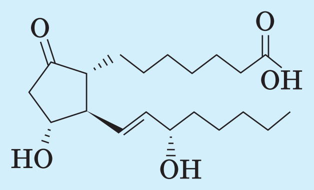
Мал. 147. Структурна формула гормону *тироксину*, що виробляється в щитоподібній залозі і є похідною амінокислоти тирозину

Гормони також виробляються у високорозвинених безхребетних. Тільки на відміну від хребетних, їх синтез відбувається не в органах секреції, а в окремих клітинах, часто розкиданих по тілу, і переносяться вони не током крові (*пригадайте, як називається рідина, що рухається по кровоносній системі комах*), а за рахунок дифузії. Ці гормони визначають час линьки, статевого дозрівання, входження в діапаузу. Особливе значення, наприклад у комах, має *ювенільний гормон*, який за своєю природою належить до того ж класу сполук, що й каучук, і регулює проходження стадій метаморфозу. Його похідні, отримані шляхом штучного синтезу, використовують як *інсектициди* (від лат. *інсекта* — комахи і *цедо* — убиваю) для боротьби з комахами-шкідниками, пригнічуючи в личинок линьку.

До гормоноподібних речовин відносять ті, які мають високу біологічну активність, але виробляються в неспе-

ціалізованих клітинах і діють невибірково — відразу на всі клітини, зокрема **фактори росту** — невеликі поліпептиди, які утворюються в клітинах тварин, що містяться в усіх тканинах. Фактори росту мають широкий спектр біологічної дії: стимулюють або пригнічують клітинні поділи, визначають швидкість диференціювання клітини. Розповсюджуються вони по тілу також шляхом дифузії.

Ще один тип гормоноподобніх речовин тварин — це **простагландини** (від грец. *простатес* — той, що попереду і лат. *гляндула* — залоза) (*мал. 148*) — група, що налічує близько 20 біологічно активних речовин, які мають ліпідну природу. Синтезуються майже в усіх тканинах організму людини, включаючи й стінки кровоносних судин. Беруть участь у регуляції кров'яного тиску, визначають статеву активність, перебіг вагітності та багато іншого. Вважається, що простагландини відіграють ключову роль у регуляції запальних процесів. З'ясувалося, що в організмі людини саме ці речовини визначають підвищення температури тіла, яке знімається аспірином. Було зроблено висновок, що жарознижуючі властивості аспірину пов'язані саме з припиненням синтезу простагландинів. На відзнаку важливості відкриття цієї групи речовин і виявлення їх біологічних властивостей біохімікам англійцю Д. Вейну (1927–2004) і шведам С. Бергстрему (1916–2004) та Б. Самуельсону (нар. 1934) у 1982 р. було вручено Нобелівську премію з фізіології й медицини.



Мал. 148.
Структура молекул *простагландинів*

Фітогормони (від грец. *фітон* — рослина і *гормони*) — це низькомолекулярні речовини, що синтезуються в певних частинах рослин, а також у грибах і бактеріях, мають високу біологічну активність і виконують регуляторні функції (викликають старіння клітин, дозрівання й опадання плодів, проростання насіння, ріст рослин, формування тканин і органів, цвітіння тощо). За характером дії вони аналогічні до гормонів тварин, проте мають деякі відмінні властивості.

Що відрізняє фітогормони й гормони тварин? Фітогормони не виробляються спеціальними органами, клітинами або тканинами й діють переважно у тому самому місці, де й утворюються. По-друге, у клітинах рослин і грибів відсутні спеціальні рецептори, подібні до тих, що є у клітинах тварин, а тому дія фітогормонів залежить від їх концентрації і проявляється набагато повільніше. По-третє, ці речовини мають широку неспецифічну дію, обумовлену станом організму й навколишнього середовища.

Розрізняють п'ять груп фітогормонів, які у свою чергу за характером дії можна поділити на стимулятори росту рослин й **інгібітори** (від лат. *інгібіо* — стримую). **Ауксини** (від грец. *ауксо* — збільшуюся, росту) стимулюють ріст плодів і пагонів. Високою біологічною активністю характеризується *гетероауксин*, який був уперше виділений із

пліснявих грибів. Саме його використовують у садівництві для швидкого вкорінення черешків. *Цитокініни* (від грец. *кітос* — оболонка і *кінео* — рухаю, спонукаю) спонукають клітинні поділи. *Гібереліни* (уперше виділені із гриба роду *Gibberella*, звідси й назва) стимулюють ріст рослин, прискорюють розвиток листя, дозрівання насіння. *Абсцизова кислота,* навпаки, гальмує ріст рослин, її накопичення в клітинах і тканинах стимулює процеси зів'янення й обпадання листя. Вона належить до того ж класу речовин, що і ювенільний гормон комах. Дію фітогормонів виявляє і *етилен*. З'ясувалось, у невеликих кількостях він утворюється в тканинах рослин і так само, як і абсцизова кислота, є інгібітором. Біологічні властивості етилену зараз широко використовуються для штучного дозрівання овочів і фруктів. Адже багато з них транспортують на тисячі кілометрів, а тому збирають ще зовсім зеленими. Тому перед продажем роблять газацію — фрукти поміщають у спеціальні камери з етиленом, який і запускає процес дозрівання.

Важливу роль у регуляції фізіологічних і біохімічних процесів відіграють біологічно активні речовини, які діють у мізерно малих концентраціях. До універсальних біологічно активних речовин, що властиві усім живим істотам і які виконують чітко визначені функції, відносять ферменти, вітаміни й сигнальні речовини — гормони в широкому розумінні цього терміну. Нестача або надлишок даних речовин може призвести до хворобливого стану організму.

Перевірте себе

1. Які загальні особливості мають біологічно активні речовини?
2. Для чого потрібні вітаміни і який патологічний стан організму викликає їх дефіцит або надлишок?
3. Що означає термін «гормон» у широкому й вузькому розумінні?
4. Чим фітогормони відрізняються від гормонів тварин?

Як ви вважаєте?

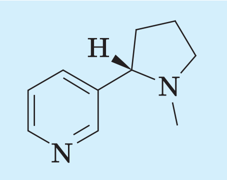
1. Чи можна провести чітку межу між такими поняттями, як вітамін і вітаміноподібна речовина, гормон і гормоноподібна речовина і чи потрібно це робити? Аргументуйте свою відповідь.
2. Чому у тварин сигнальні речовини виробляються в окремих органах, а їх взаємодія із клітинами відбувається на рівні рецепторів, тоді як у рослин у процесі еволюції не виникли ні органи секреції, ні рецептори?
3. Чим пояснити, що настільки різні за своїм призначенням речовини, як ювенільний гормон комах, фітогормон абсцизова кислота й природний каучук, який отримують із соку гевеї або деяких видів кульбаби, відносяться до одного й того самого типу хімічних сполук?

§29. БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ: АЛКАЛОЇДИ, ТОКСИНИ, АНТИБІОТИКИ ТА ІНШІ

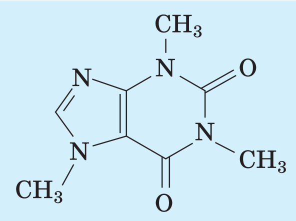
Терміни та поняття: алкалоїди, токсини, антибіотики, дисбактеріоз, фітонциди, феромони.

Що таке алкалоїди та токсини. Окрему групу біологічно активних речовин складають продукти біологічного синтезу, які не мають у межах організму, в якому вони синтезовані, чіткого призначення. Їх біологічна дія проявляється тільки при взаємодіях з іншими живими істотами.

Алкалоїди (від лат. *алкалі* — луг і грец. *еідос* — вигляд) — особлива група нітрогеновмісних органічних речовин, які складно класифікувати, оскільки вчені виділяють кілька класифікаційних ознак: за будовою окремої складової молекули, за природним джерелом алкалоїду тощо. За своєю хімічною природою алкалоїди — здебільшого гетероциклічні сполуки (тобто циклічні сполуки, у яких окремі атоми Карбону в кільці заміщені атомами Нітрогену). Речовини цієї групи не мають чіткого функціонального призначення, проте при потраплянні до інших організмів виявляються біологічно дуже активними. У малих дозах алкалоїди, як правило, активізують нервову систему людини, у великих — її пригнічують. Зараз відомо понад тисячу алкалоїдів. Багато алкалоїдів вже навчилися синтезувати в промислових масштабах і вони використовуються як інсектициди. Більша частина цих речовин дуже токсична не тільки для комах, але й для людей, тому їх використання може бути небезпечним. Найбільш різноманітні алкалоїди вищих рослин, серед яких 25 % видів мають свій специфічний алкалоїд, є вони і в грибах, крім того, знайдені у шкірі деяких видів тропічних безхвостих амфібій.



Мал. 149.
Структурна формула молекули *нікотину*



Мал. 150.
Структурна формула молекули *кофеїну*

Алкалоїди мають лужні властивості, звідки й пішла їх назва. Їх молекули також можуть містити атоми Сульфуру, Хлору й Брому. Деякі алкалоїди рослин, у яких вони містяться (опіумний мак, кок), були відомі людині з античних часів. Вже тоді їх використовували як отруту для стріл. Мабуть найуживанішими людством алкалоїдами є нікотин (*мал. 149*) і кофеїн (*мал. 150*). Перший виділений у чистому вигляді алкалоїд — морфін, а також кокаїн — це наркотичні речовини. Багато сильнодіючих алкалоїдів використовуються в медицині, серед них як препарат, що знеболює, й морфін. Хінін тривалий час був основним засобом боротьби з малярією і врятував мільйони життів. Його отримують із кори хінного дерева. Він і зараз застосовується в медицині, хоча вже існують і більш ефективні штучно синтезовані



Мал. 151.
Рослина *стріхнос отрутоносний*, з кори якої індіанці Південної Америки виробляють отруту кураре



Мал. 152.
Із насіння *чилибухи*, що росте в тропічних районах Азії і Африки, отримують стрихнін

засоби. Найвідомішим алкалоїдом грибів є мускарин, що міститься в червоному мухоморі (*подумайте, чому він так називається*). Серед алкалоїдів є й дуже сильні отрути. Індіанці Південної Америки використовують отруту кураре, яку вони отримують із кори тропічної рослини *Strychnos toxifera* (*мал. 151*). Із близького виду *Strychnos nux-vomica* (*мал. 152*) отримують алкалоїд стрихнін, який у лабораторній практиці відносять до першої категорії отруйних речовин. Кураре, навіть у незначній кількості потрапивши в крихітну ранку, вражає нерви дихальних м'язів, що майже відразу призводить до задухи. Цікаво, що незважаючи на таку активність, кураре у шлунку перетравлюється й руйнується, а тому тварини, вбиті отруйними стрілами, використовуються індіанцями в їжу без жодного побоювання. Дотепер не отримано однозначної відповіді на запитання, навіщо ж алкалоїди потрібні рослинам або грибам, якщо їх біологічна активність жодним чином не проявляється в організмах, де вони синтезуються. Крім того, багато рослин, які втрачають здатність до синтезу певного алкалоїду, почувають себе не гірше, ніж ті, що його містять у значній кількості. Тому більшість вчених вважають, що алкалоїди — це непотрібні організму кінцеві продукти біосинтезу, у яких просто накопичуються відходи обміну речовин. На думку інших вчених, у такий спосіб рослини відлякують рослиноїдних тварин. Однак, як показує досвід екологів, були б рослини, а той, хто буде ними живитися, завжди знайдеться. Можна було б очікувати, що якби алкалоїди давали рослинам якісь переваги, то види з їх значним вмістом стали б найбільш масовими й широко розповсюдженими, але найімовірніше, все навпаки. Найчастіше рослини, що містять сильні алкалоїди, рідкісні й нечисленні, а широко поширеними стали тому, що людина ввела їх у культуру й розселила по земній кулі.

Токсини (від грец. *токсікон* — отрута) — отруйні речовини природного походження, різноманітної будови й способу дії. Викликають порушення функціонування організму і, зрештою, залежно від дози й характеру ураження, спричинюють смерть. Токсини виробляються майже всіма групами організмів: бактеріями, грибами, рослинами, тваринами (медузами, павуками, скорпіонами, комахами, рибами та ін.).

За типом дії на організм людини природні отрути поділяються на кілька груп: ушкоджують кров, знижують проникність судин (отрути деяких бактерій, рослин і багатьох видів змій); ушкоджують внутрішні органи (отрута блідої поганки та ін.); викликають омертвіння тканин (отрути змій); нервово-паралітичні (отрута кобри, риби фугу, а також токсини зі шкіри деяких видів тропічних жаб).

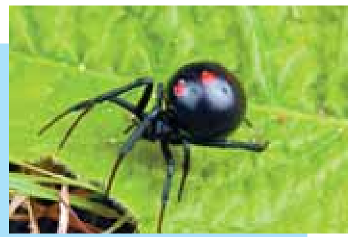
Отруйні види тварин, грибів, рослин. У фауні й флорі нашої країни є досить багато отруйних видів. Серед тварин це не тільки два види *гадюк* (*степова* й *звичайна* (*мал. 153*)), але й *скорпіон кримський*, *павук каракурт* (*мал. 154*), комахи, що жалять (особливо *шершні* (*мал. 155*), на отруту яких може виникнути сильна алергічна реакція), *метелики строкатки*, у гемолімфі яких містяться сполуки синильної кислоти, земноводні (*червоночеревна* і *жовточеревна кумки* (*мал. 156*) і *ропуха зелена)*, у шкірі яких містяться набагато слабкіші, ніж в тропічних жаб, токсини. Серед представників царства Рослин до сильно отруйних відноситься цикута (*болиголов* (*мал. 157*)) (за переказами, отрутою, виділеною з неї, отруїли Сократа), *вовчі ягоди звичайні* — кущ, що красиво цвіте ранньою весною (занесений до Червоної книги України). Найбільш небезпечною отруйною істотою нашої країни по праву слід вважати представника царства Грибів — *бліду поганку* — мухомор з капелюшком білого або блідо-зеленого кольору, що містить поліпептидні токсини аманітини і фалоїдини. Ці поліпептиди стійкі до термічної обробки і під час приготування грибів не розкладаються. За рік від цих токсинів, що діють на печінку, гинуть десятки грибників. Труднощі лікування полягають у тому, що спочатку ця отрута діє непомітно, а коли проявляються симптоми отруєння (блювота, кишкові кольки, м'язовий біль, пронос і сильна спрага), то внутрішні органи виявляються настільки зруйнованими, що не піддаються лікуванню.

Серед бактеріальних токсинів найбільш небезпечним є ботулотоксин, що викликає ботулізм — смертельно небезпечну хворобу, яка вражає нервову систему. Продукується він бактеріями (*Clostridium botulinum*), що живуть в анаеробних умовах: звичайно в ґрунті й на дні водойм. Може розвиватися в консервах, якщо вони виготовлені з погано промитих овочів і фруктів, у ковбасах, копченостях, в'яленій прісноводній рибі. Ботулотоксин не витримує тривалої термічної обробки.

Токсичність одних організмів (змій, павуків, скорпіонів, шершнів) має очевидний і зрозумілий зміст: за допомогою отрути вони добувають їжу й захищаються від ворогів. Тоді як причини отруйності інших — тих, у яких отрута просто накопичується в клітинах тіла, залишається й дотепер загадкою. Деякі вчені вважають, що це теж пристосування, особливо якщо у тварин є застережливе яскраве забарвлення, яке попереджає їхніх ворогів про отруйність. (*Пригадайте, що таке мімікрія.*) Однак більшість дослідників, як і у випадку з алкалоїдами, доводять, що це простий наслідок недосконалості обміну речовин, у результаті якого в клітинах накопичується «метаболічне сміття», яке не заподіює особливої



Мал. 153.
Гадюка звичайна — представник отруйних змій нашої фауни



Мал. 154.
Каракурт, укус цього павука небезпечний для людини



Мал. 155.
Шершень, мабуть, одна з найнебезпечніших для людини комах

шкоди даному виду організмів, а тому є для нього нейтральним. Але одна закономірність все ж таки є: отрутні тварини, гриби або рослини аж ніяк не є найчисленнішими й процвітаючими представниками своїх царств, а тому токсичність не дає їм у порівнянні з «їстівними» побратимами ніяких особливих переваг.



Мал. 156. *Кумка червоночеревна*, у шкірі якої містяться особливі токсини

Що таке антибіотики. **Антибіотики** (від грец. *анти* — проти і *біос* — життя) — у вузькому розумінні — речовини різноманітної хімічної природи, які виробляються в мікроорганізмах (бактеріях і грибах) і здатні вбивати або пригнічувати ріст інших мікроорганізмів або злоякісних пухлин багатоклітинного організму. На цей час описано тисячі природних антибіотиків, хоча в медицині використовується лише кілька десятків. Крім того, антибіотиками в широкому розумінні вважають усі речовини природного походження чи штучного синтезу, які мають антибактеріальні властивості.

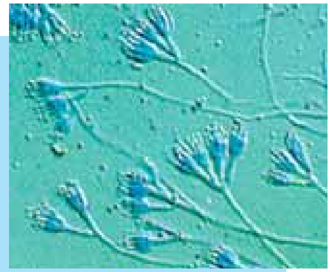
Перший антибіотик пеніцилін було виділено з мікроскопічного грибка *Penicillium notatum* (*мал. 158*) у 1929 р. англійським мікробіологом ***О. Флемінгом*** (*мал. 159*) (1881–1955). У промисловій кількості його почали виробляти під час Другої світової війни. І незважаючи на те, що він був недостатньо сильним і, більш того, навіть токсичним, пеніцилін все-таки врятував мільйони життів. Другий антибіотик — стрептоміцин, який виділили також з грибка — *Streptomyces globisporus* (*мал. 160*), з’явився в 40-х роках XX ст., був сильнішим за дією, не таким токсичним і здатним вражати більшу кількість збудників, у тому числі страшної хвороби — туберкульозу. Широковідомим є й інший антибіотик — тетрациклін, який порушує утворення комплексу між транспортною РНК і рибосомою, що приводить до пригнічення синтезу білка. За його допомогою сьогодні лікують інфекції дихальних шляхів, зокрема пневмонію, сечостатевих органів, шкіри та м’яких тканин. Завдяки антибіотикам вдалося певною мірою перемогти багато хвороб, які до відкриття цих речовин вважалися такими, що не піддаються лікуванню. Зараз за допомогою антибіотиків, якщо лікування було розпочато на ранніх стадіях, можна перемогти майже всі бактеріальні хвороби.



Мал. 157. Найвідоміша отруйна рослина української флори: *болиголов*, яка може викликати смертельне отруєння

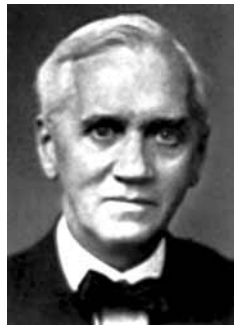
Однак при невмілому використанні чи передозуванні антибіотиків можна завдати організму великої шкоди. Зокрема після неадекватного лікування антибіотиками, коли гинуть не тільки хвороботворні бактерії, але й бактерії, які в нормі живуть у шкірі, слизових оболонках і кишечнику і є дуже корисними, їх місце займають інші мікроорганізми, які не в змозі компенсувати втрату. Такі зміни в мікрофлорі кишечнику призводять до **дисбактеріозу** (від грец. *дис* — втрата і *бактерії*), за якого порушуються травлення й імунітет.

Мікрофлора людини складає близько 2,5 кг живої маси, причому в кишечнику знаходиться близько 1 кг бактерій-симбіонтів. Практично це є самостійний орган, який відіграє важливу роль у перетравленні вуглеводів, синтезі вітамінів, стійкості організму до дії патогенних мікроорганізмів. Вважається, що тільки в кишечнику людини живе від 300 до 1000 видів бактерій.



Мал. 158.
Грибок пеніцилюм, з якого було виділено перший антибіотик — пеніцилін

Дія антибіотиків полягає в тому, що вони порушують ключові процеси обміну речовин бактерій, внаслідок яких або втрачається цілісність мембрани чи клітинної оболонки, або пригнічується синтез білків і ДНК, або блокується робота дихальних ферментів. За своєю дією й хімічною будовою розрізняють кілька типів антибіотиків, які належать до окремих груп — рядів. Антибіотики пеніцилінового ряду виділяють з колоній гриба — пеніцилюма. Дія цих антибіотиків пов'язана з блокуванням синтезу речовин, необхідних для побудови клітинної стінки, внаслідок чого бактерії гинуть. Однак виявилося, що бактерії здатні боротися з антибіотиками, у свою чергу виробляючи специфічні речовини, які блокують їх згубну дію. Тому на певному етапі антибіотики одного ряду, які втратили здатність боротися з бактеріями, при лікуванні замінюють на представників іншого. Зокрема, у випадку з пеніциліном — представниками цефалоспоринового ряду. Ці антибіотики виділяють з колоній інших видів грибів.



Мал. 159.
О. Флемінг

Із властивостей бактерій адаптуватися до дії будь-яких антибіотиків випливають два важливих наслідки практичного характеру.

По-перше, антибіотики слід приймати в таких дозах і стільки днів, скільки призначено лікарем. Але якщо їх прийом було припинено завчасно або дози були заниженими, то частина хвороботворних бактерій залишиться живими і неушкодженими, а це значить, що не виключений рецидив захворювання. Причому в цьому випадку є велика ймовірність того, що воно буде викликано бактеріями, які вже адаптувалися до даного виду антибіотиків. Якщо ж, навпаки, їх приймання затягти, то, крім хвороботворних бактерій, можна знищити власну мікрофлору, а це обов'язково призведе до дисбактеріозу.



Мал. 160.
Культура *грибка стрептоміцету*, з якого було виділено антибіотик — стрептоміцин

По-друге, не можна зловживати антибіотиками, оскільки рано чи пізно бактерії адаптуються, отже, все менше стає антибіотиків, здатних знищити бактерії і, навпаки, усе більше з'являється штамів мікроорганізмів, яким не страшні цілі групи й ряди антибіотиків. У результаті такої **коеволюції** (від лат. *ко* — разом і *еволюція*) бактерій і антибіотиків доводиться вдаватись до все більш сильних препаратів, які вже не щадять «ані своїх, ані чужих», завдаючи організму хворого величезної шкоди.

Щодо причин появи антибіотиків, то й тут існують дві протилежні думки. Одні вчені вважають, що антибіотики, хоча і не мають особливого призначення в організмі, однак необхідні бактеріям у боротьбі з «конкурентами». Невипадково, як вважається, більше за інших виробляють антибіотики мікроорганізми, що живуть у ґрунті, вочевидь таким чином у середовищі, де бактерій найбільше, вони позбавляються одна одної. Інші вважають, що антибіотики — це просто відходи, похибки обміну речовин, яких у примітивних істот бактерій дуже багато.

Інші вторинні метаболіти. **Фітонциди** (від грец. *фітон* і лат. *цедо* — убиваю) — це особливі леткі речовини найрізноманітнішої хімічної будови, які виділяються рослинами в дуже незначній концентрації і здатні пригнічувати й навіть убивати різноманітні мікроорганізми. Ці речовини є важливими факторами імунітету рослин. Іноді фітонциди називають антибіотиками в широкому сенсі цього слова. Як і інші вторинні метаболіти (алкалоїди, токсини чи антибіотики), фітонциди не мають чіткого функціонального призначення в межах організму, в якому синтезуються, і, залежно від виду рослин, належать до різних класів органічних речовин. Типовими представниками фітонцидів є ефірні масла й інші сильно пахучі сполуки, що виділяються рослинами, особливо при їх травмуванні.



Мал. 161. Комп'ютерна модель колонії *кишкової палички*

Виявляється, дерева нашої кліматичної зони мають сильний фітонцидний ефект: фітонциди сосни згубні для бактерій, що викликають туберкульоз, а також *кишкової палички* (*мал. 161*), берези — для *золотистого стафілококу*, який є збудником великої кількості дуже небезпечних захворювань людини. Тому, гуляючи у лісі, ви не тільки отримуєте естетичне задоволення, а ще й здійснюєте медичну процедуру.

Феромони (від грец. *феро* — нести) — леткі речовини тварин різноманітної хімічної природи, які у надмалій кількості продукуються, як правило, спеціальними залозами. Феромони завжди видоспецифічні. З їх допомогою одні особини подають сигнали іншим і спонукають до того або іншого способу поведінки. Статеві феромони комах приваблюють особин протилежної статі, готових до спарювання, на відстані кількох кілометрів. Незважаючи на розвиток сучасної біології, на сьогодні навіть важко уявити, яким чином комахам вдається знайти одна одну за такої незначної концентрації цих речовин і на таких величезних відстанях, що їх розділяють. Феромонами тварини мітять свою територію, а бджолина матка визначає, якій особині бути робочою, а якій стати маткою. Вважається, що й у людей є свої феромони, хоча це питання ще мало вивчене.

Особливу групу біологічно активних речовин становлять алкалоїди, токсини, антибіотики, фітонциди й феромони. Здебільшого ці речовини продукуються рослинами, грибами й бактеріями. У тварин їх різноманітність набагато менша. В межах власного організму ніякого функціонального призначення вони, як правило, не мають, а тому в дуже незначних кількостях діють на інші особини. Вважається, що ці речовини є похибками власного метаболізму, а їх функціональне призначення, пов'язане з різного роду міжвидовими взаємодіями: захистом, пригніченням або поведінковими контактами з іншими організмами, є вторинним.

Перевірте себе

1. Що являють собою алкалоїди й у яких груп організмів вони зустрічаються?
2. Чим токсини відрізняються від алкалоїдів?
3. У чому полягають сильні, а в чому — слабкі сторони антибіотиків?
4. Які леткі біологічно активні сполуки існують у природі? Поясніть їх значення.

Як ви вважаєте?

1. Чому алкалоїди в такій кількості й у такій різноманітності утворюються в рослин і чому їх так мало у тварин?
2. Відомо, що серед високоорганізованих груп тварин, таких, як птахи й плацентарні ссавці, не зустрічаються отруйні види. Чому так?
3. Чому наймасовіші й найрозповсюдженіші види — неотруйні, а отруйні майже завжди нечисленні екзоти?
4. Навіщо потрібні феромони людині?
5. Чому організм людини не здатний виробляти свої власні антибіотики?

§30. ЄДНІСТЬ І СТАЛІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЖИВИХ ІСТОТ

Терміни та поняття: єдиний план молекулярної будови організмів, ідея єдності матеріального світу.

У чому виявляється єдність хімічного складу живого. Після вивчення усього різноманіття сполук і речовин, що є обов'язковими компонентами живого, не можна залишити поза увагою очевидну універсальність хімічного складу живих істот, який можна назвати **єдиним планом молекулярної будови** організмів. Ці загальні властивості, що доводять єдність живого, можна звести до кількох основних. У чому вони полягають?

1. Усі живі організми складаються з атомів одних і тих самих хімічних елементів. Причому 98 % їхньої маси припадає на чотири органогенних елементи. (*Пригадайте, які.*) Ще 20 біогенних елементів (усі макроелементи й частина мікроелементів), постійно входять до складу клітини. Без них неможливе життя клітини, хоча їх співвідношення в різних організмів і типах клітин змінюється.

2. Без води немає життя. Основною речовиною будь-якого організму є вода. У клітинах грибів і рослин вода становить 80–90 %. У найбільш функціонально активних органах тварин вміст води сягає 90 %. (*Як ви вважаєте, чому в насінні рослин або жировій тканині тварин на воду припадає лише 10–12 %?*) Така потреба живих організмів у воді викликана тим, що вона є не тільки постійним учасником хімічних реакцій, що відбуваються в клітинах, а й універсальним розчинником — середовищем для їх проходження.

3. Загальним для всіх видів організмів є набір іонів основних мінеральних солей. Універсальна властивість живого — подразливість — здійснюється зміною співвідношення іонів K^+ і Na^+ зовні й усередині клітини, саме за їх допомогою транспортуються речовини у клітину і за її межі. Іони Mg^{2+} є активаторами роботи багатьох ферментів незалежно від того, в клітині тварини, рослини або гриба вони працюють.

4. У клітинах усіх живих істот зберігається сталий рівень концентрації іонів Гідрогену, що відповідає значенню pH, близькому до нейтрального. Підтримується цей баланс за рахунок катіонів ортофосфатної кислоти.

5. До складу клітин усіх живих організмів без винятку входять чотири типи органічних сполук, які виконують спільні для всіх організмів функції:

- ліпіди — гідрофобні сполуки, до складу молекул яких входять залишки жирних кислот і багатоатомних спиртів. Жири — естери триатомних жирних кислот і гліцерину, є енергетичним резервом будь-якого організму. Жироподібні речовини — це більш складно побудовані багатоатомні естери, що мають гідрофобні або амфіфільні властивості. За рахунок цього вони здатні утримувати в середині клітини воду, а тому фосфоліпіди є обов'язковими компонентами клітинних мембран всіх організмів без винятку;
- вуглеводи — багатоатомні альдегідоспирти, в емпіричній формулі яких на атом Карбону припадає молекула води. Моносахариди, особливо глюкоза, є універсальним джерелом енергії. Полісахариди, що складаються із залишків молекул глюкози, — основні резервні речовини клітин всіх організмів. (*Пригадайте, що ви знаєте про крохмаль, глікоген, інулін.*) Деякі полісахариди

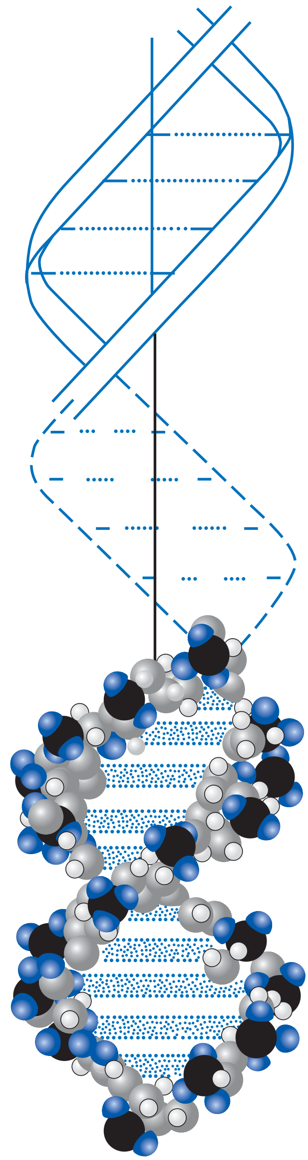
(клітковина, хітин) концентруються на поверхні клітин, утворюючи захисні структури;

- білки — унікальні будівельні речовини клітини, виконують ще багато інших функцій. Є білки, універсальні для всіх істот без винятку (дихальні білки — цитохроми, білки цитоскелета, клітинних мембран, рибосом), а деякі — специфічні для конкретних груп організмів. (*Пригадайте, в яких організмах виробляється гемоглобін, казеїн, інсулін.*) З 20 універсальних амінокислот побудовані поліпептидні ланцюги усіх живих істот без винятку. Ферменти — універсальні біологічні каталізатори, побудовані з однієї чи кількох білкових молекул. Оскільки в різних організмах відбуваються подібні хімічні реакції, то й набір ферментів, що каталізують ці реакції, у клітинах різних груп живих істот подібний. Більш того, просторова структура ферментів, що виконують ті самі функції у різних видів організмів, а також послідовність амінокислот в їх поліпептидних ланцюгах дуже схожі;
- нуклеїнові кислоти (ДНК і РНК) входять до складу всіх клітин без винятку. Побудовані вони з чотирьох типів нуклеотидів. ДНК — подвійна макромолекула, яка складається з двох полінуклеотидних ланцюгів. Її функція — зберігання генетичної інформації. Молекули РНК слугують для синтезу білка, вони бувають трьох типів і трапляються в усіх живих організмів без винятку.

6. Основним накопичувачем енергії в усіх клітинах є АТФ. У молекулі АТФ енергія запасається у вигляді макроергічних хімічних зв'язків.

Хімічний склад живих істот та ідея єдності світу. Найважливішим наслідком універсальності принципів будови всіх живих істот на молекулярному рівні є обґрунтування **ідеї єдності матеріального світу**. Її суть полягає в тому, що всі організми побудовані з атомів тих самих хімічних елементів, що й неживі, а також підпорядковуються всім без винятку фізичним законам. (*Пригадайте, яким ще фізичним законам, крім закону збереження й перетворення енергії, підпорядковується життя живих істот.*) Ця ідея чітко підтверджується наявністю єдиного плану молекулярної будови, що притаманний всім живим істотам. Наявність такого плану проявляється і на рівні органічних речовин.

Чим ближча спорідненість організмів, чим зовні вони більш схожі, тим більш подібним є їхній хімічний склад. У близьких видів збігається не тільки кількісний набір хімічних елементів або органічних сполук, їх співвідношення в клітині, але й організація макромолекул ДНК чи білків, які є специфічними для кожного виду (*мал. 162*). Так, молекулярно-генетичні дослідження останніх десятиліть довели, що в молекулах ДНК і РНК



Мал. 162.
ДНК — це універсальна речовина, яка в усіх живих істот побудована за єдиним принципом, і є найкращим доказом єдності хімічної організації всього живого

людини й шимпанзе відмінності в розташуваннях нуклеотидних пар становлять менше 1 %, а амінокислотний склад тих самих білків відрізняється на 1–2 %. Якщо ж порівняти людину з макаком суматранським, то відмінності в первинній структурі цих молекул збільшаться у 2–3 рази, а при порівняннях з мишею хатньою стануть більшими в 10 разів. Саме тому генетики говорять, що людей і шимпанзе, які є близькоспорідненими видами, просто «виліпили з одного молекулярного тіста».

Макромолекули у людини й шимпанзе за своєю будовою настільки схожі, що кров людини можна успішно переливати до кровоносного русла шимпанзе й при цьому реципієнт не виявить жодних ознак хвороби. (*Пригадайте, чи можна вільно переливати кров від однієї людини до іншої.*)

Що доводить єдність загального плану молекулярної будови. Перш за все, всі види живих організмів, які живуть на Землі, більшою чи меншою мірою споріднені між собою, а значить вони виникли від спільних предків — дуже примітивних істот, що існували на Землі більш ніж 3,5 млрд. років тому.

Більшість учених припускають, що життя на Землі виникло у Світовому океані, який покривав всю Земну кулю. Тоді активно йшли геологічні процеси, супроводжуючись виділенням з надр різних речовин. У тих місцях, де вони виділялися, вода не тільки мала підвищену температуру, але навіть кипіла, причому на дні океану процес ішов під високим тиском. Очевидно, саме у таких місцях з підвищеною температурою з неорганічних сполук утворювалися найпростіші органічні речовини, які потім почали концентруватися. Таким чином утворилося щось на зразок клітинної мембрани. У цих скупченнях органічних речовин відбувалися зовсім інші хімічні процеси, ніж у довколишньому середовищі. На певному етапі скупчення органічних речовин стали здатними до самовідтворення і по суті перетворилися на перших живих істот.

Усі живі істоти мають єдність хімічного складу, яка проявляється як в однаковому наборі хімічних елементів, так і в наявності універсальних органічних сполук (ліпідів, вуглеводів, білків і нуклеїнових кислот). Загальний план молекулярної будови організмів доводить єдність матеріального світу і дає підстави вважати, що всі нині існуючі види істот походять від перших примітивних організмів, які з'явилися на Землі понад 3,5 млрд. років тому.

Перевірте себе

1. Що доводить однаковий елементний склад живих організмів?
2. Які класи органічних речовин є універсальними для всього живого?
3. У чому полягає суть ідеї єдності матеріального світу в застосуванні до живих організмів?
4. Чому вважається, що людина і мавпа-шимпанзе — дуже споріднені види?

Як ви вважаєте?

1. Чому, чим більше споріднені види, тим більш схожою є будова їхніх макромолекул і, навпаки, чим більше види розійшлися у часі, тим більші їх відмінності на рівні первинної структури макромолекул?
2. Деякі вчені вважають, що різні організми виникли на Землі незалежно один від одного, а єдиний план будови доводить не стільки їх спорідненість, скільки те, що вони підкоряються однаковим законам фізики і хімії. Спростуйте чи доведіть цю думку.

Семінар 8. Масло Лоренцо

Інформація до роздумів. Існує думка, що користь жирів тим вища, чим більше в них ненасичених жирних кислот. Це пов'язано з тим, що ненасичені кислоти дуже легко вступають у хімічні реакції окиснення і приєднання за місцем розташування подвійних зв'язків у їх молекулах. Чим більше в жирах похідних насичених (граничних) жирних кислот, тим вища температура їх плавлення. У яловичому та баранячому жирах, що швидко застигають, вміст гліцеридів насичених кислот близько 51 %, у свинячому жирі їх трохи менше (40 %), тому він плавиться легше, а в соняшниковій олії — тільки 17 %. Багато похідних ненасичених жирних кислот міститься в риб'ячому жирі.

У 1992 році на екрани вийшов художній фільм, що змусив мільйони людей плакати й практично стількох же — вивчати біохімію, — «Масло Лоренцо», заснований на реальних подіях. Дитина родини Одоне, нормальний веселий хлопчик на ім'я Лоренцо у віці 7 років став проявляти ознаки незрозумілого захворювання: погіршився слух і зір, спостерігалася дратівливість зі спалахами буйства, порушилися координація рухів і мова, згодом настали судоми й параліч. Дитині поставили страшний діагноз: адренолейкодистрофія. Через рік повністю паралізований хлопчик навіть не був здатний ковтнути слину. Медицина дала хлопчику ще два роки життя.

Адренолейкодистрофія — спадкове захворювання, пов'язане з порушенням функціонування особливих органел, у яких здійснюється окиснення жирних кислот. У результаті в клітинах накопичуються багатоатомні жирні кислоти, внаслідок чого відбувається руйнування мієлінової оболонки нервових волокон. Мієлінова оболонка — електроізолююча оболонка, що покриває аксони багатьох нейронів, являє собою безліч шарів клітинної мембрани. Пошкодження мієлінових оболонок призводить до того, що стає неможливою передача нервового імпульсу; одночасно вражається умовна і безумовна рефлекторна діяльність.

Батьки хлопчика усі сили кинули на вивчення хвороби й пошук препарату, здатного полегшити долю дитини. Спочатку експериментували з рослинними оліями, які додавали в їжу дитині, потім зупинилися на суміші виділених з рапсової й маслинової олій тригліцеридів олеїнової й ерукової кислот, остання міститься у представників родини хрестоцвітні, у співвідношенні 4:1. Препарат із суміші цих кислот батьки назвали на честь свого сина «масло Лоренцо». Ліки сприяли тому, що, замість відведених йому медициною двох років, Лоренцо Одоне прожив ще 22 й помер через запалення легенів лише у 2008 р. 30-літнім.

Препарат «Масло Лоренцо» — не панацея від адренолейкодистрофії, на жаль, цю хворобу повністю вилікувати на сьогодні неможливо. Однак масло Лоренцо продовжує хворим життя на десятки років. У тих, в кого хвороба діагностована на ранніх стадіях, до настання деградації організму, її перебіг вдається практично зупинити!

Масло Лоренцо — усього лише один, хоча й дуже яскравий приклад впливу ліпідів, які організм отримує з їжею, на загальний хімічний обмін організму. Яким же є вплив на організм ліпідів, отриманих з їжею здоровою людиною?

Усупереч поширеній думці щодо корисності рідких рослинних олій і шкідливості твердих тваринних жирів, виявляється, що найбільш шкідливим з них є маргарин — рослинні олії, штучно перетворені у тверді жири. Для отримання маргарину проводять гідрогенізацію жиру. Ненасичені кислоти, зазвичай рідкі за кімнатної температури, перетворюються у тверді штучні жири: маргарин і шортенинг. Для їх виробництва використовують найдешевші рослинні олії (соєву, кукурудзяну, бавовняну й ін.), у які попередньо вводять дрібні частки металу, наприклад нікол(II) оксид, що слугує каталізатором. Масло разом із частками металу під більшим тиском у високотемпературному реакторі зазнає впливу Гідрогену. Після цього в отриману суміш вводять милоподібні емульгатори (речовини, що утворюють емульсії) й крохмаль для поліпшення консистенції, а потім суміш для очищення знову нагрівають парою. Оскільки природній колір і запах маргарину дуже неапетитні, в нього ще додають відбілювач, барвники й сильні ароматизатори. У результаті цей продукт стає зовні схожим на вершкове масло. І нарешті, суміш пресують, фасують і продають як нормальний харчовий продукт.

При впливі високих температур і зазначеного каталізатора атоми Гідрогену змінюють своє положення в ланцюжку жирної кислоти. До гідрогенізації пари атомів Гідрогену розташовані в ланцюжку поруч, що приводить до невеликого його вигину й концентрації електронів у місці цього подвійного зв'язку. Ця молекула належить до *цис*-ізомерів і саме така форма молекули найчастіше зустрічається в природі. У результаті гідрогенізації один з атомів Гідрогену з пари переміщається на іншу сторону, тому молекула набуває іншої форми й утворюються неприродні для живих істот *транс*-ізомери жирних кислот. Через це більшу частину штучних жирів організм людини взагалі не сприймає. Замість виділення їх, організм використовує ці транс-жири для побудови клітинних мембран, вважаючи їх за цис-жири. Тому, вбудовані в клітинні мембрани, транс-жирні кислоти порушують клітинний метаболізм, оскільки хімічні реакції можуть відбуватися тільки тоді, коли електрони в клітинних мембранах утворюють певну конфігурацію.

До цього слід також додати, що природні жири, які ми споживаємо — це переважно суміші різних жирів з водою, мінеральними солями й вітамінами.

Дискусійні питання

1. Чому природні продукти кращі від штучних?
2. Чому з кожним роком у продуктах все більше міститься різних харчових добавок, барвників, консервантів і якими можуть бути наслідки?
3. Чому в жирах рослин і водних тварин більше міститься ненасичених кислот?

Джерела інформації

http://humbio.ru/humbio/har_nevr/0000dff6.htm
http://www.americaru.com/news/29009
http://ictvonline.org
http://www.nkj.ru/archive/articles/15107/
http://vita.x51.ru/index.php?mod=text&uitxt=800/802
http://www.zodiak.lv/healt/osnovi-pitanija/pravda-o-zhirah/margarin/
http://www.vitash.narod.ru/food5.htm
http://ru.wikipedia.org/wiki/Жирные_кислоты/Холестерин
http://www.womenhealthnet.ru/nutrition/368.html

Семінар 9. Тихоходки — тварини, які є справжнім викликом біохімії

Інформація до роздумів. Існують на світі тварини, яких можна сміливо назвати головним болем зоологів. Річ у тому, що ці тварини мають настільки разючі властивості, що не піддаються аналізу з погляду біохімії.

Вони настільки непомітні (від 0,1 до 1 міліметра), настільки неквапливі, настільки неповороткі, що назвали цих тварин тихоходками (*мал. 163*).

Тихоходки живуть у краплинній волозі, що накопичується на мохах, лишайниках. Вони оселяються у вологих складках листків і в основі черешків, у вологих щілинках під корою дерев, у водостоках замшілих дахів, на каменях і скелях — усюди, де є волога та їжа.

Першим цих тваринок побачив у 1702 р. Антон ван Левенгук. Він розглядав у мікроскоп усе, що тільки могло поміститися під окуляр приладу. Левенгук, зібравши пил з жолоба водостічної труби, розмочив його у воді і виявив мікроскопічних комашок. На жаль, Левенгук забув про своє відкриття. Проте інший дослідник, італійський біолог Лазаро Спалланцані, у 1776 р. повторив експеримент Левенгука, розглянувши пил більш ретельно. У бруді з даху він виявив тих самих комашок. Невідомі тваринки так вразили Спалланцані своєю неквапливістю, що він назвав їх *тардиград*и (з грец. — тихоходки).

Тривалий час дослідники намагалися довести родинні зв'зки тихоходок із червами, ракоподібними комахами — усе марно, тихоходки виявилися не схожими ні на кого. У підсумку і в сучасній системі тваринного світу існує окремий клас Тихоходки (Tardigrada), що належить типу Членистоногих.

Зовні ці тварини віддалено схожі на товстих ведмежат (друга назва тихоходки — «маленький водяний ведмідь»). Їхня внутрішня будова проста до надзвичайності, кровоносна й дихальна системи відсутні зовсім.

Тихоходки — це цілий світ, що нараховує близько 900 видів, в якому є свої «травоїдні» і хижаки: одні висмоктують поживні речовини із зелених рослин, інші полюють на дрібних комашок, у тому числі й на інших тихоходок. Серед цих тварин є як самці, так і самки, останні відкладають від 2 до 20 яєць, з яких вилуплюються мініатюрні копії дорослих.



Мал. 163. Тихоходка

Але найцікавішою є здатність тихоходок до виживання. Здається, що вони не підкорюються жодним правилам біохімії, що для цих тварин немов би «скасоване» таке явище, як денатурація білків чи нуклеїнових кислот.

Вони — мабуть, найнадзвичайніші тварини на планеті. У стані анабіозу тихоходки здатні перенести: • нагрівання до +150 °С; • охолодження до –271 °С; • перебування у вакуумі; • тиск близько 6000 атмосфер, що в шість разів перевищує тиск на дні найглибшого місця в океані; • вплив найсильнішого рентгенівського випромінювання: 570 000 рентген убиває тільки 50 % особин, що опромінюються (для порівняння, для людини смертельною дозою радіації є 500 рентген); • перебування у чистому водні; • висихання тривалістю понад 100 років; • повну відсутність кисню.

Тихоходки здатні переносити охолодження до –271 °С протягом багатьох годин. Річь у тім, що число 271 — це практично найнижча температура, яку можна досягти в експерименті. Усього лише на два градуси це значення відрізняється від –273 °С (абсолютного нуля — температури, за якої припиняється рух атомів).

Вчені вважають, що їхня властивість до виживання спирається на механізм ангідробіозу, тобто висушування. При висиханні тихоходки втягують у тіло кінцівки, зменшуються в об'ємі й набувають форми барила, поверхня їх тіла вкривається восковою оболонкою, що перешкоджає випаровуванню. При анабіозі метаболізм тихоходок спадає до 0,01 % від норми, а вміст води може доходити до 1 % від нормального. Тихоходки, що були знайдені у прадавніх музейних колекціях мохів і поміщені у воду, через кілька днів «оживали» і неспішно відправлялися на пошуки їжі.

Здавалось би, білки іДНК мають неминуче руйнуватися під дією температури кипіння олії, рентгенівське випромінювання не може не зруйнувати молекули ДНК, а високий тиск не може не зруйнувати організм, пристосований для життя не в океанських глибинах, а в крапельці води.

Тому серед офіційних наукових гіпотез трапляються досить екстравагантні. Однак їх екстравагантність іноді виявляється цілком обґрунтованою. Розглянемо одну з таких теорій. Екстремально низькі температури, високий рівень радіації, безкисневе середовище, вакуум, надзвичайний тиск. Хіба існують на нашій планеті місця, де зустрічаються перераховані чинники? Жодного! А де ж можна зустріти настільки несприятливі умови? У космосі! А тому немає причин вважати нереальною гіпотезу про те, що тихоходки — це прибульці із космосу — істоти, яким немає місця в систематиці земного життя і які мають запас міцності, не потрібний для життя на нашій планеті.

Дискусії

1. Спробуйте підтвердити або спростувати теорію про неземне походження тихоходок.

Теми рефератів

1. Інші тварини і рослини, які так само, як тихоходки, спростовують закони біохімії.
2. Для чого тихоходкам потрібний такий «запас міцності», якщо вони живуть у звичайних умовах?

Джерела інформації

http://ru.wikipedia.org/wiki/Тихоходки
http://www.membrana.ru/lenta/?8595
http://www.infuture.ru/article/1104
http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biology/53/КЛАСС
http://www.tardigrada.net/
http://www.earthttpe.net/inverts/tardigrada.html

Семінар 10. Навіщо організми виробляють алкалоїди й токсини

Інформація до роздумів. Деякі біологи беззастережно відстоюють відомий принцип: «природа знає краще», а тому все, що відбулося в природі, є не випадковим і має пристосувальний сенс, даючи можливість виду або конкретному організмові успішно протистояти своїм ворогам, пристосуватися до умов навколишнього світу. В результаті найбільш «вдалий» організм залишає більше нащадків з такими ж, як і він сам, позитивними властивостями. Інші вчені вважають, що й природа може помилятися і всі дивні та незрозумілі ознаки чи властивості організмів — результат випадковості й вони не мають прямого біологічного змісту.

Хід такої дискусії легко продемонструвати. Наприклад, на запитання: «Чому ягоди малини й суниці пофарбовані в яскраво-червоний колір?» прихильник доцільності відразу дасть відповідь: «Тому що яскравий колір приваблює птахів, які поїдають ягоди й у такий спосіб розносять насіння, що не перетравлюється, а це в свою чергу сприяє поширенню виду». Тоді резонно буде запитати: «А чому ягоди отруйних рослин вовчеягідника чи конвалії теж яскраво-червоні? А чому ягоди чорниці такі непримітні? Хіба цим видам не потрібно поширюватися? І взагалі, чому кавун зелений ззовні і червоний всередині?»

Особливого змісту дискусія про доцільність і випадковості властивостей і ознак біологічних об'єктів набуває у зв'язку з таким явищем, як алкалоїди й токсини, які пасивно накопичуються в тілах багатьох рослин, грибів і деякою мірою тварин.

Дійсно, може токсини й алкалоїди рослин — це наслідок «війни флори й фауни»? Багато хто з ботаніків дотримуються цієї точки зору. Адже алкалоїди й токсини (різниця між якими тільки в дозі, при якій вони викликають отруєння) широко поширені в рослин і грибів. На сьогодні описана хімічна структура декількох тисяч алкалоїдів і токсинів. Скрупульозні лабораторні досліди показали, що на ріст і життєдіяльність рослин, у яких вони виробляються, аклкалоїди ніяк не впливають. Тому в прихильників біологічної доцільності не залишається іншого пояснення, як те, що вони захищають рослину від поїдання тваринами. І цьому є прямі докази. Види чи окремі рослини, що містять алкалоїди, дійсно мають набагато меншу кількість ворогів. Спостереження, проведені американськими вченими на околицях м. Сієтлу (США), показали, що регулярно в цій місцевості берези й верби пошкоджуються шкідниками, які через деякий час починали гинути від голоду. Виявилося, що, захищаючись від ворогів, дерева змінювали обмін білків і в їх клітинах починали синтезуватися особливі поліпептиди. З'ясувалося, що хімічний склад листя змінювався навіть у дерев, які росли неподалік. Після тривалих дослідів учені з'ясували, що дерева, атаковані шкідниками, виділяють етилен. Вітер відносить цей газ до сусідніх дерев, вселяючи в них «тривогу». І ті змінюють свій метаболізм таким самим чином. Цей процес взаємних генетичних змін двох тісно взаємодіючих в природі видів отримав назву коеволюції.

Однак супротивники жорсткої доцільності в природі мають власну думку: токсини й алкалоїди — не спеціальна зброя рослин. Це наслідок недосконалості їх метаболізму, коли в результаті хімічних реакцій утворюються побічні продукти, які накопичуються в клітинах і деякий час не заподіюють шкоди «хазяїнові», але залишаються небезпечними для інших.

Подібно до рослин, і серед тварин отруйні істоти аж ніяк не найбільш процвітаючі, як наприклад, метелики-пістрянки. У їхній гемолімфі містяться сполуки синильної кислоти, з якої отримують одну з найсильніших отрут — калій ціанід. Це невеличкі товсточеревні важколітаючі метелики, які зазвичай

мають барвисте застережне забарвлення. Іноді вони бувають численними, але частіше зустрічаються епізодично, набагато рідше від своїх нетоксичних побратимів (білянок, совок), синявців, німфалід, а тому, навіть якщо їх і побоюються птахи, це, як не дивно, не приводить до їхнього процвітання.

Схожа ситуація й з амфібіями. Найбільш отруйною слід вважати кумку червоночеревну. Її черево дійсно відлякує хижих птахів і звірів, але це не зробило її дуже численним видом. Значно чисельнішими є «їстівні» види — жаба озерна чи гостроморда.

І взагалі, не можна не відзначити тієї тенденції, що серед більш високоорганізованих істот, у яких метаболізм досконаліший, рідше трапляються токсичні види. У тих же рослин алкалоїдвмісних видів серед однодольних набагато менше, ніж серед еволюційно менш просунутих дводольних. Чітка тенденція зменшення кількості отруйних видів спостерігається в еволюційному ряді хребетних тварин. Дійсно, серед риб досить звичайними є види з отруйними внутрішніми органами, м'ясом, шкірою (досить згадати рибу *фугу*). Багато видів риб мають тверді гострі промені, по яких стікає отрута, що виробляється в шкірі. Однак серед рептилій вже немає пасивно отруйних видів, а в активно отруйних змій отрута — це особливі ферменти, склад і властивості яких відомі. Отруйні види взагалі не зустрічаються серед птахів і вищих ссавців. Ці приклади підтверджують, що чим вища організація і чим досконалішим є метаболізм, тим менша ймовірність того, що в клітинах будуть накопичуватися отруйні речовини.

Теми виступів

1. Алкалоїди й токсини як спеціальні захисні речовини.
2. Токсини й алкалоїди як продукти метаболізму деяких рослин, грибів і бактерій.
3. Токсичні й алкалоїдвмісні рослини твого саду.
4. Токсичні рослини нашої флори.
5. Отруйні тварини нашої фауни.

Джерела інформації

http://www.znanie-sila.ru/online/issue_1536.html
http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00094/71600.htm
http://flofa.org.ua/
http://review.kuda.ua/2155
http://ru.wikipedia.org/
http://www.wikiznanie.ru/

Лабораторна робота № 6

Дія солей важких металів на білки

Мета: дослідити вплив солей важких металів на білки, ознайомитися з можливостями використання денатурації білків у медичній практиці

Обладнання, речовини: штатив із пробірками, розчин яєчного білка (ω = 1 %), розчин купрум(II) сульфату (ω = 5 %), розчин плюмбум(II) ацетату (ω = 5 %)

Довідка: Йони важких металів зумовлюють осадження білків. Розчинення осаду білка в надлишку розчину солей важких металів пояснюється адсорбцією на поверхні частинок білка надлишку йонів металів, що приводить до перезарядження білкового комплексу і білок набуває здатності розчинятися.

Інструктивна картка

1. У дві пробірки помістіть по 5 крапель розчину білка. У першу додайте 1 краплю розчину купрум(II) сульфату, у другу — 1 краплю розчину плюмбум(II) ацетату.
2. Спостерігайте утворення осаду в пробірках, зазначте колір осадів.
3. Продовжуйте по краплям додавати розчин солей до розчинення осадів.

Оформлення результатів роботи

Зробіть **висновок** з роботи і зазначте, яку денатурацію білків (оборотну чи необоротну) викликають солі важких металів. Виконайте завдання.

Завдання

1. Обґрунтуйте, які наслідки для живих організмів має забруднення навколишнього середовища солями важких металів.
2. Під час надання першої допомоги при отруєнні солями Купруму, Меркурію, Плюмбуму постраждалому дають молоко або білок курячого яйця, а потім викликають блювоту. Поясніть, на яких властивостях білків базується цей захід.

Лабораторна робота № 7

Роль ферментів у біохімічних реакціях

Мета: здійснити експеримент із визначення ролі ферментів у біохімічних реакціях

Обладнання, матеріали, речовини: бульби картоплі, цибулина, шматочок м'яса (масою приблизно 10 г), розчин гідроген пероксиду (ω = 3 %), порцелянова ступка з товкачиком, пробірки, спиртівка, препарувальна голка

Довідка: У процесі життєдіяльності в клітинах утворюється гідроген пероксид (H_2O_2), який для живих організмів є отруйною речовиною, оскільки здатний викликати денатурацію білків. Фермент каталаза, розщеплюючи гідроген пероксид на воду й кисень, захищає клітини організмів від накопичення цієї речовини.

Інструктивна картка

Дослідження дії ферменту каталази

1. Приготуйте витяжки:
   - розітріть у порцеляновій ступці 5 г соковитих лусок цибулини, додайте 50 мл води і налийте по 5 мл утвореного розчину у дві пробірки (пробірки № 1 і № 2);
   - розітріть у порцеляновій ступці кілька шматочків сирої картоплі, додайте 50 мл води і налийте по 5 мл утвореного розчину у дві пробірки (пробірки № 3 і № 4);
   - дрібно наріжте шматочок м'яса (масою приблизно 10 г), розподіліть його на дві пробірки і долийте в кожну 20 мл води (пробірки № 5 і № 6).
2. Прокип'ятіть вміст пробірок № 2, № 4, № 6.
3. Додайте в кожну пробірку (№ 1, № 2, № 3, № 4, № 5, № 6) розчин гідроген пероксиду об'ємом 3 мл.
4. У яких пробірках відбуваються зміни?

Оформлення результатів роботи

1. Результати виконання експерименту оформіть у вигляді таблиці.
2. Надайте пояснення явищам, що відбувались при дії гідроген пероксиду на живі та мертві клітини рослин і тварин.
3. Зробіть **висновок** про наявність у використаному біологічному матеріалі ферменту каталази та зазначте умови її активності.

Лабораторна робота № 8

Аналітичне визначення і дослідження білків, ліпідів, вуглеводів

Мета: сформувати уміння проводити досліди з визначення у рослинному матеріалі білків, ліпідів, вуглеводів, закріпити уміння пояснювати отримані результати

Обладнання, матеріали, речовини: штатив із пробірками, скальпель, хімічний стакан, скляна лійка, фільтрувальний папір, мікроскоп, предметне і покривне скельця, 10 г горохового борошна (насіння дозрілого гороху, перемелене до порошкоподібного стану), 3 мл олії соняшникової, розчин натрій хлориду (ω = 10 %), розчин натрій карбонату (ω = 10 %), розчин натрій гідроксиду (ω = 10 %), розчин калій йодиду (ω = 1 %), розчин купрум(II) сульфату (ω = 5 %), розчин калій перманганату (ω = 1 %)

Інструктивна картка

Визначення білків у рослинному матеріалі (біуретова реакція)

1. Змішайте у хімічному стакані 10 г горохового борошна і 50 мл розчину натрій хлориду; отриманий розчин профільтруйте.
2. До 2–3 мл фільтрату додайте розчин натрій гідроксиду об’ємом 2–3 мл, потім — розчин купрум(II) сульфату об’ємом 1–2 мл і спостерігайте, як вміст пробірки набуває фіолетового забарвлення.

Визначення наявності ліпідів (реакція Вагнера)

1. Налийте у пробірку 1 мл соняшникової олії, додайте по стільки само розчину натрій карбонату і розчину калій перманганату.
2. Вміст пробірки перемішайте скляною паличкою.
3. Спостерігайте за явищами у пробірці.

Визначення вуглеводів у рослинному матеріалі (реакція з розчином йоду)

1. Розріжте бульбу картоплі, скальпелем візьміть невелику кількість рідини, що виступила на зрізі, перенесіть її в краплину води на предметному склі й накрийте покривним скельцем.
2. Розгляньте у мікроскоп на великому збільшенні, замалюйте побачені зерна крохмалю.
3. Нанесіть на предметне скло поруч із покривним склом краплину розчину калій йодиду. З протилежного боку покривного скла відберіть воду за допомогою фільтрувального паперу.
4. Спостерігайте зміну забарвлення мікропрепарату, замалюйте побачене.

Оформлення результатів роботи

1. Результати роботи оформіть у вигляді таблиці і схарактеризуйте метод дослідження, використаний у роботі.
2. У **висновку** поясніть, на чому базується визначення основних груп органічних речовин у даній роботі.

Лабораторна робота № 9

Реакції осадження білків: осадження білків при нагріванні, концентрованими неорганічними кислотами, органічними розчинниками

Мета: з’ясувати вплив фізичних і хімічних чинників на осадження білків

Обладнання, матеріали, речовини: пробірки, пробіркотримач, пальник, піпетка, скляна паличка, розчин яєчного білка, органічний розчинник (наприклад етанол (ω = 96 %))

Довідка: Реакції осадження білків залежно від осаджувача бувають необоротними й оборотними.

Інструктивна картка

Приготування розчину білка (яєчного альбуміну)

Білок курячого яйця збивають до піноутворення і змішують у колбі при струшуванні з десятикратним об'ємом води. Утворений розчин фільтрують через подвійний шар змоченої водою марлі. Фільтрат являє собою розчин альбуміну, а осад на марлі — яєчний глобулін.

Осадження білків при нагріванні

Налийте у пробірку 2 мл розчину яєчного альбуміну і нагрійте вміст пробірки до кипіння. Спостерігайте утворення білого пластівчастого осаду в пробірці. Про що це свідчить?

Осадження білків концентрованими неорганічними кислотами

У пробірку налийте 1 мл розчину яєчного білка, додайте (обережно з піпетки) кілька крапель розчину нітратної кислоти і перемішайте. Спостерігайте, як у пробірці утворюється білий пластівчастий осад. Злегка нагрійте вміст пробірки.

Осадження білків органічними розчинниками

1. До 1 мл розчину білка у пробірці долийте 2 мл органічного розчинника і перемішайте скляною паличкою.
2. Спостерігайте за змінами у пробірці.
3. Додайте кілька крапель розчину натрій хлориду і зазначте спостережувані явища.

Оформлення результатів роботи

Запишіть **висновок** з роботи, у якому:
1. Порівняйте результати проведених реакцій;
2. Зазначте особливості термічної та хімічної денатурації, що мали місце у проведеному експерименті;
3. Поясніть, що відбувається з молекулами білків внаслідок осадження.

Практична робота № 6

Моделювання просторової структури біомолекул

Мета: застосувати знання про конформації біомолекул для моделювання їх просторової структури

Обладнання, матеріали: металевий дріт діаметром 0,5 мм, намистини різних кольорів, ножиці по металу, лабораторний набір моделей атомів зі стержнями для складання моделей молекул неорганічних і органічних речовин, папір, ножиці

ІНФОРМАЦІЯ

Важливість моделювання структури біологічних молекул зумовлена тим, що основні процеси функціонування живої клітини визначаються насамперед їх просторовою структурою (конформацією).

ХІД РОБОТИ

Моделювання біомолекул низькомолекулярних органічних сполук

1. Ознайомтеся з лабораторним набором, призначеним для моделювання молекул органічних сполук. Набір складається із кольорових пластикових кульок — моделей атомів і стержнів для моделювання різних видів зв’язків. У моделях атомів під певним кутом є отвори для кріплення стержнів, що сприяє досягненню під час моделювання не тільки певних валентних кутів і направленості зв’язків, але й необхідної форми і структури моделі молекули. Моделі атомів повинні мати відповідне кольорове кодування: Гідроген — білий колір, Хлор — зелений, Карбон — чорний, Оксиген — червоний, Нітроген — синій, Сульфур — жовтий.
2. Зберіть із деталей набору (або кольорових намистин і дроту) кулестержневі моделі молекул: глюкози (лінійна і циклічна форми), сахарози, аланіну, валіну, серину, цитозину. Зверніть увагу на просторове розміщення атомів і валентні кути у створених моделях молекул.
3. Змоделюйте молекули дипептидів та трипептидів, використовуючи моделі амінокислот із попереднього завдання.
4. Складіть формули речовин, що були використані при виконанні завдань 2 і 3.

Моделювання просторової конформації білкової молекули

1. На паперовій стрічці розміром 5x15 см запишіть скорочені назви амінокислот і згортанням стрічки імітуйте утворення вторинної та третинної структур білкової молекули. Уявіть, як між залишками амінокислот виникають хімічні зв’язки.
2. Зверніть увагу, як один і той самий амінокислотний залишок може утворювати зв’язки з кількома іншими.
3. Змоделюйте процес оборотної денатурації білків. Зазначте, що потрібно зробити, щоб на даній моделі продемонструвати необоротну денатурацію.

Зробіть **висновок**, у якому зазначте:

- чи існують площинні або лінійні біомолекули і з чим це пов’язано;
- особливості конформації макромолекул та можливості її зміни як характерну ознаку біомолекул.



Практична робота № 7

Вивчення білкової природи ферментів. Властивості ферментів (вплив температури, pH, активаторів та інгібіторів на активність амілази слини)

Мета: ознайомитись із деякими властивостями ферментів на прикладі амілази

Обладнання, матеріали, речовини: штатив із пробірками, хімічні стакани, лід, піпетки, крапельниці, термостат, розчини слини (співвідношення слини і води 1:5), крохмалю (ω = 1 %), йоду в калій йодиді (ω = 1 %), натрій хлориду (ω = 1 %), хлоридної кислоти (ω = 0,5 %), купрум(II) сульфату (ω = 1 %), лід, водяна баня

ІНФОРМАЦІЯ

Амілаза слини прискорює гідроліз полісахариду крохмалю і не діє на дисахариди. Зміни каталітичної активності ферменту під дією різних чинників (температури, pH тощо) зумовлені порушенням структури активного центру, що призводить до ушкодження його зв’язку із субстратом. Інгібітори ферментів зв’язуються з активним

центром або індукують конформаційні зміни в молекулі ферменту. В основі дії окремих токсичних речовин і деяких лікарських препаратів перебуває їх здатність інгібірувати ферментні системи.

ХІД РОБОТИ

Приготування розчину слини

Ополосніть питною водою ротову порожнину 2–3 рази; відміряйте 50 мл дистильованої води і продовжуйте нею ополіскування протягом 3–5 хвилин. Зберіть розчин слини в колбу.

Вплив температури на активність амілази слини

1. У три пронумеровані пробірки налийте по 5 мл розчину слини. Пробірку №1 помістіть у стакан з льодом, пробірку № 2 залиште у штативі за кімнатної температури (за термометром зафіксуйте її значення), пробірку № 3 поставте на водяну баню при температурі 40 °С. Через 5 хвилин у пробірки додайте по 5 мл розчину крохмалю і перемішайте.
2. Нанесіть на предметне скельце краплі розчину йоду на відстані 1 см одна від одної. Скляними паличками візьміть проби з пробірок і змішайте їх з краплями розчину йоду. Зазначте забарвлення розчинів з кожної пробірки. Проби беріть кожні 2 хвилини до тих пір, поки рідина з будь-якої пробірки не змінюватиме колір розчину йоду, що свідчитиме про завершення гідролізу в цій пробірці.
3. Створіть таблицю і зазначте в ній хід гідролізу крохмалю за забарвленням з розчином йоду різних проб.
4. Зробіть висновок про принцип визначення оптимальної температури для каталітичної активності амілази слини; вкажіть значення оптимальної температури, визначене дослідним шляхом.

Вплив рН середовища на активність амілази слини

1. Приготуйте розчини хлоридної кислоти з різними значеннями рН. Для цього у 8 пронумерованих пробірок помістіть по 1 мл дистильованої води. У пробірку №1 додайте 1 мл розчину хлоридної кислоти, перемішайте, відберіть 1 мл розчину й перенесіть в пробірку № 2. Перемішайте й відберіть 1 мл суміші у пробірку №3 і так вчиніть з усіма пробірками. Із пробірки № 8 відберіть 1 мл рідини й вилийте.
2. У кожну пробірку додайте по 2 мл розчину крохмалю і по 1 мл розчину слини.
3. Струшуванням перемішайте вміст пробірок і помістіть їх у термостат на 15 хвилин при температурі +37 °С.
4. Охолодіть пробірки і додайте в кожну по 1 краплі розчину йоду.
5. Зазначте пробірки, в яких відбувся повний гідроліз крохмалю, і висловіть судження про межі рН-оптимуму дії досліджуваного ферменту.
6. Зробіть висновок про залежність активності амілази від рН середовища.

Вплив активаторів та інгібіторів на активність амілази слини

1. У три пронумеровані пробірки внесіть по 3 мл розчину слини і додайте у пробірку №1 воду об'ємом 2,5 мл, у пробірку № 2 — розчин натрій хлориду об'ємом 2,5 мл, у пробірку № 3 — розчин купрум(ІІ) сульфату об'ємом 2,5 мл.
2. Вміст пробірок перемішайте, додайте по 5 крапель розчину крохмалю і поставте пробірки у термостат або на водяну баню при температурі 38 °С. Через 5 хвилин додайте в кожну пробірку по кілька крапель розчину йоду. Спостерігайте за зміною забарвлення у пробірках.
3. На основі спостережень зробіть висновок, яка речовина є активатором, а яка — інгібітором амілази слини.

У **висновку** зазначте, в яких пробірках та за яких умов виявлено дію ферментів і чому. Зробіть загальний висновок щодо білкової природи амілази, конкретизуйте умови її ферментативної активності.

Практична робота № 8

Розв’язування задач і вправ із молекулярної біології

Мета: застосувати знання про склад білків, структуру та інформаційну функцію нуклеїнових кислот при розв’язуванні задач і вправ з молекулярної біології

ІНФОРМАЦІЯ

У розрахунках приймається: середня молекулярна маса одного амінокислотного залишку — 110; лінійна довжина одного амінокислотного залишку — 0,35 нм; обчислення молекулярної маси білків здійснюють за формулою:

$$Mr_{min} = \frac{a}{b} \cdot 100\% ,$$

де Mr min — мінімальна молекулярна маса білка, a — атомна чи молекулярна маса компонента, b — масова частка компонента; відносна молекулярна маса одного нуклеотида — 345; лінійна довжина одного нуклеотида — 0,34 нм.

ХІД РОБОТИ

1. Вміст валіну в білку насіння гороху становить 1,3 %. Обчисліть мінімальну молекулярну масу цього білка.
2. У молекулі гемоглобіну людини масова частка Феруму становить 0,34 %. Обчисліть мінімальну молекулярну масу гемоглобіну та його реальну молекулярну масу, якщо молекула гемоглобіну містить чотири атома Феруму.
3. Один із білків вірусу тютюнової мозаїки складається із 158 амінокислотних залишків. Визначте довжину первинної структури цього білка і його молекулярну масу.
4. Скільки білків, можна побудувати з 24 амінокислот, якщо кожний білок складається із 160 амінокислотних залишків?
5. Фрагмент одного ланцюга ДНК має таку послідовність нуклеотидів: АТАЦГГААТАЦГГЦАТ. Намалюйте схему будови дволанцюгового фрагменту цієї молекули ДНК і визначте його довжину.
6. Ділянка одного із ланцюгів молекули ДНК має послідовність нуклеотидів ЦТА ААГ ГЦТ ТАГ АЦГ. Визначте: послідовність нуклеотидів у другому ланцюгу цієї ж молекули; склад фрагменту іРНК, що утворюється на даному відрізку молекули.
7. Один ланцюг ДНК містить 32 % аденілових нуклеотидів, 16 % — гуанілових, 28 % — тимідилових. Визначте вміст нуклеотидів (%) у другому ланцюзі цієї молекули ДНК.
8. У молекулі ДНК вміст аденілових нуклеотидів становить 15 % від загальної кількості. Обчисліть вміст інших видів нуклеотидів у цій молекулі.
9. У фрагменті ДНК 180 тимідилових нуклеотидів, що становить 18 % від загальної кількості. Визначте вміст інших нуклеотидів і довжину цього фрагменту молекули ДНК.
10. У складі молекули ДНК виявлено 2500 нуклеотидів, з яких 20 % припадає на цитиділові нуклеотиди. Визначте вміст аденілових, тимідилових і гуанілових нуклеотидів у цій молекулі та її молекулярну масу.
11. Обчисліть кількість мономерів білка, закодованого на ділянці молекули ДНК, що має відносну молекулярну масу 34155.
12. У молекулі ДНК наземної тварини частка тимідилових нуклеотидів становить 18 % від загальної кількості нуклеотидів. Обчисліть вміст нуклеотидів у молекулі ДНК.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ІЗ РОЗДІЛУ ІІ

1. Укажіть ряд, що складається з хімічних символів макроелементів

А P, O, Zn, Au **Б** N, C, Hg, Ca **В** Fe, S, O, H **Г** Cl, Si, J, C

2. Укажіть йон, що надає крові головоногих молюсків блакитного кольору

А Mn^{2+} **Б** Co^{2+} **В** Mo^{2+} **Г** Cu^{2+}

3. Позначте властивість води, що забезпечує організмам захист від перегрівання

А здатність розчиняти речовини **Б** участь у реакціях гідролізу **В** велика теплоємність **Г** значний поверхневий натяг

4. Укажіть пару гідрофільних сполук

А сахароза, аланін **Б** тестостерон, альбумін **В** рибоза, хітин **Г** глюкоза, ланолін

5. Позначте функції води в клітині

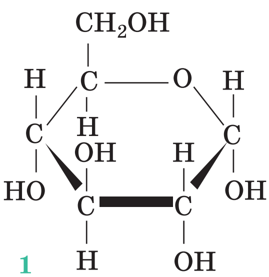
А середовище біохімічних реакцій **Б** каталізатор біохімічних реакцій **В** джерело енергії **Г** реагент у реакціях гідролізу

6. Визначте клас органічних сполук, представники якого переважають у переліку *хітин, ДНК, кератин, міозин, ланолін, глюкоза, крохмаль*

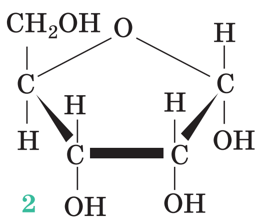
А білки **Б** ліпіди **В** вуглеводи **Г** нуклеїнові кислоти

7. Знайдіть відповідність між формулами і назвами сполук

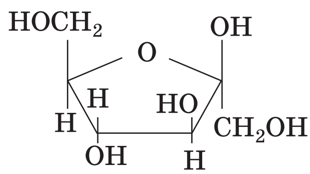
А сахароза **Б** α-D- глюкоза **В** β-D- фруктоза **Г** D- рибоза



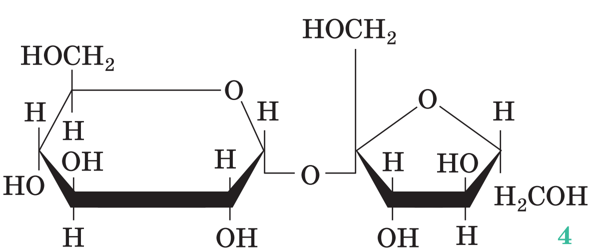
1



2



3



4

8. Визначте представника ліпідів

А гемоглобін **Б** холестерин **В** тимін **Г** хітин

9. Позначте фермент, що каталізує розклад гідроген пероксиду у живих клітинах

А лактатдегідрогеназа **Б** фосфатаза **В** каталаза **Г** амілаза

10. Виберіть пояснення застосуванню білків при отруєнні солями важких металів

А білки спричинюють гідроліз солей важких металів **Б** білки розчиняють солі важких металів **В** білки утворюють з солями важких металів нерозчинні комплекси і полегшують їх всмоктування **Г** білки утворюють з солями важких металів нерозчинні комплекси і перешкоджають їх всмоктуванню

11. Укажіть функції, спільні для білків і ліпідів

А каталітична **Б** будівельна **В** термоізоляційна **Г** захисна

12. Укажіть структуру білка, що має вигляд глобули

А первинна **Б** вторинна **В** третинна **Г** четвертинна

13. Виявіть представника білків

А тимін **Б** актин **В** гуанін **Г** хітин

14. Укажіть хімічні зв'язки, що підтримують вторинну структуру білка

А пептидні **Б** йонні **В** водневі **Г** дисульфідні

15. Позначте мономери нуклеїнових кислот

А нітрогеновмісні основи **Б** пептиди **В** нуклеозиди **Г** нуклеотиди

16. Укажіть нітрогеновмісну основу, за якою РНК відрізняється від ДНК

А цитозин **Б** гуанін **В** аденін **Г** урацил

17. Виберіть пару комплементарних нітрогеновмісних основ

А У — Т **Б** У — А **В** А — Г **Г** Т — Ц

18. Виберіть кількість водневих зв'язків між комплементарними аденіном і тиміном в молекулі ДНК

А 1 **Б** 2 **В** 3 **Г** 4

19. Позначте запис, що відображає правило Чаргаффа

А Ц/А = Т/Г **Б** А/Т = Г/Ц **В** А+Г/Т+Ц = 1 **Г** А+Т/Г+Ц = Т/Г

20. Укажіть склад молекули АТФ

А аденін, глюкоза, один залишок ортофосфатної кислоти **Б** аденін, рибоза, три залишки ортофосфатної кислоти **В** аденін, дезоксирибоза, один залишок ортофосфатної кислоти **Г** аденін, дезоксирибоза, три залишки ортофосфатної кислоти

21. Установіть відповідність між класами органічних сполук та їх представниками

А вуглеводи	**1** холестерин
Б білки	**2** актин
В нуклеїнові кислоти	**3** хітин
Г ліпіди	**4** ДНК
	5 лактоза

Колоквіум № 2. Молекулярний рівень організації живої природи

Контрольні питання

1. Біохімія і її зв'язок з іншими науками.
2. Головні етапи становлення науки про хімічні основи життя.
3. Молекулярна біологія як напрям біологічної науки.
4. Головні наукові установи й основні напрями біохімічних досліджень в Україні.
5. Об'єкти і методи біохімічних досліджень.
6. Періодична система елементів і атомний склад живого.
7. Що таке органогенні і що таке біогенні елементи?
8. Ендемічні хвороби.
9. Геохімічні зони України і їх особливості.
10. Значення і вміст неорганічних речовин у живих системах.
11. Вода як розчинник і хімічно активна речовина.
12. Властивості води і її функції в організмі.
13. Функції іонів у клітині. Явище іонної асиметрії живого.
14. Небезпека від неорганічних речовин, які накопичуються в організмі й у навколишньому середовищі.
15. Для чого потрібний такий показник, як ГДК і в чому полягають його недоліки?
16. Головні групи органічних речовин клітини. Біомолекули.
17. Яка небезпека від органічних речовин, які є забруднювачами середовища?
18. Ліпіди і жири: особливості хімічної структури, фізичні властивості та біологічне значення.
19. Особливості структури і функцій вуглеводів.
20. Ізомерія моносахаридів.
21. Чому полісахариди, що мають мономери, однакові за хімічною формулою, різні за хімічними і фізичними властивостями?
22. Амфотерні властивості амінокислот.
23. Класифікація амінокислот. Незамінні амінокислоти.
24. Що спільного і що відмінного в глікозидному і пептидному зв'язках?
25. Рівні організації білків.
26. Класифікація і функції білків.
27. Ферменти — біологічні каталізатори: їх структура, функції і класифікація.
28. Біологічний каталіз і властивості ферментів.
29. Що таке нуклеотид?
30. Моно-, оліго- і полінуклеотиди.
31. РНК і ДНК, що спільного і що відмінного в їх будові?
32. РНК: значення в клітині і різноманітність типів молекул.
33. Модель молекули ДНК: подвійна спіраль.
34. Чому вітаміни — це універсальні речовини живих істот?
35. Чим відрізняються гормони тварин від фітогормонів рослин?
36. Що таке алкалоїди і навіщо вони рослинам?
37. Яким чином і на які організми діють антибіотики?
38. Чи має людина особливі феромони?
39. Основні риси єдності хімічної організації живого.
40. У чому полягає концепція єдності органічного світу?



Розділ 3
Клітинний рівень організації живої природи

Тема 6. Структура клітинного рівня: біомолекули та органели клітини

§31. ІСТОРІЯ ВИВЧЕННЯ КЛІТИНИ. ЩО ТАКЕ КЛІТИННА БІОЛОГІЯ

Терміни та поняття: мікроскоп, клітина, протоплазма, цитоплазма, клітинна теорія, цитологія, тканина, клітинна біологія.

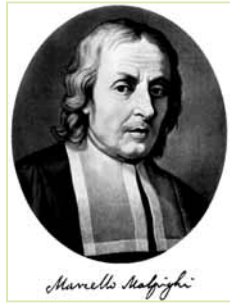
Історична довідка. Першою людиною, яка побачила клітину, був Роберт Гук (1635–1703). Трапилося це в Англії у 1667 році. Якось дослідник нарізав тонкими скибочками корок і розглянув їх за допомогою **мікроскопа** (від грец. *мікрос* — малий і *скоп* — спостерігаю) (*мал. 164*), який у ті часи використовували лише для світських розваг. Гук побачив, що корок складається з повторюваних рядів однакових комірок, які він назвав *cell* (з англ. *камера*, або *келія*). Цей термін в англійській науковій мові існує дотепер, а в українській цьому терміну відповідає назва **клітина**. Відкриття комірчастої будови тканин рослин залишилося непоміченим сучасниками Гука. І тільки завдяки подальшим дослідженням інших учених, серед яких ***Марчелло Мальпігі*** (1628–1694) (*мал. 165*) та Антоні ван Левенгук (1632–1723), почала формуватися думка про те, що всі тканини й органи тварин і рослин складаються з клітин, які одні вчені називали «камерами», другі — «пухирцями», а інші — «зернинками». На той час вже було з'ясовано, що кров — це рідина, у якій міститься величезна кількість клітин. (*Пригадайте, хто першим відкрив та описав еритроцити крові.*)



Мал. 164. Мікроскоп Гука

Початок XIX ст. позначився важливим відкриттям: було встановлено, що клітини можна відокремлювати одну від одної, не змінюючи їх первинної форми. Отже, клітини — це досить незалежні структури. Мікроскопи тоді мали незначне збільшення, а тому за їх допомогою можна було детально розглянути лише найпомітніші частини клітин — клітинні стінки. І тільки вдосконалення техніки надало вченим нових можливостей для вивчення клітинного вмісту. У 1825 р. чеський вчений ***Я. Пуркіне*** (1787–1869) (*мал. 166*) відкрив ядро у ненасидженому яйці курки. Пізніше було доведено, що ядро — це невід'ємна частина всіх клітин тварин та рослин. Тоді ж почало формуватися уявлення про клітинний вміст як напіврідку зернисту речовину, яку Я. Пуркіне назвав **протоплазмою** (від грец. *протос* — перший і *плазма* — виліплене). Надалі замість цього терміна почали вживати термін **цитоплазма** (від грец. *цитос* — клітина і *плазма*). Через наявні відмінності у будові клітинних стінок рослин і тварин учені помилково вважали, що «зернинки» тварин не тотожні «клітинам» рослин, а отже, рослини і тварини створені зовсім по-різному. Проте на основі останніх на той час досягнень науки німецький фізіолог Т. Шванн (1810–1882) у 1839 р. висловив думку про те, що «утворення клітин є загальним принципом будови всіх організмів». Це положення стало провідною ідеєю **клітинної теорії** і в загальному вигляді формулюється так: **усі живі організми складаються з клітин**.

Відповідно до уявлень, що склалися у вчених того часу, зокрема і в творця клітинної теорії Т. Шванна, нова клітина може вільно виникнути з певної безструктурної речовини, що міститься в клітині та являє собою каламутну зернисту масу. Проте в 1859 р. німецький фізіолог ***Р. Вірхов*** (1821–1902) (*мал. 167*) зробив обґрунтування: **кожна клітина — з клітини**. Цей принцип з часом назвали **законом Вірхова**. За цим законом клітини утворюються лише з клітин шляхом їх поділу і не виникають з аморфних речовин. Отже, в середині XIX ст. сформувалася **цитологія** (від грец. *цитос* — клітина і *логос* — вчення) — наука про клітину як одиницю будови і життєздатності, яка здатна до самовідтворення і розвитку, саме завдяки розмноженню (поділу) клітин відбувається ріст й розвиток всіх живих істот.



Мал. 165.
Марчелло Мальпігі



Мал. 166.
Ян Пуркіне



Мал. 167.
Рудольф Вірхов

> Клітинну теорію Т. Шванн сформулював, спираючись на помилкові висновки. На відміну від М. Шлейдена і Я. Пуркіне, він вважав, що жива речовина міститься в клітинних стінках, а не в цитоплазмі. Іноді в науці помилкові уявлення стають поштовхом до правильного теоретичного узагальнення.

Надзвичайно важливим досягненням біології стало відкриття яйцеклітини російським ученим ***К. М. Бером*** (1792–1876) (*мал. 168*). Він також встановив, що організми

починають свій розвиток з однієї клітини — заплідненего яйця. Цим було доведено, що клітина — не тільки одиниця будови, а й початок усіх багатоклітинних організмів.

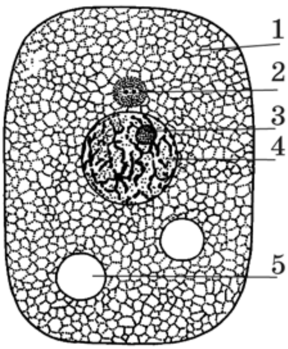
Одночасно формуються уявлення про **тканини** як сукупність клітин одного типу. Ключовим науковим фактором стало виокремлення чотирьох основних типів тканин тварин і людини. (*Пригадайте, які типи тканин є у тварин.*)

Пізнання таємниць клітини у XX ст. зумовлене подальшим розвитком методів дослідження, насамперед мікроскопії (*мал. 169*), а також поєднанням цього методу з вивченням біохімічних і фізіологічних властивостей клітини. У наш час учених цікавлять не окремі структури клітини, а речовини, з яких вони складаються. Сучасна цитологія — це система наук, яка має назву **клітинна біологія**.



Мал. 168. Карл Бер

Головним результатом вивчення клітини стало формування клітинної теорії, основним положенням якої є принцип клітинної будови всіх живих організмів. У наш час клітини досліджує окрема наукова галузь, що дістала назву клітинна біологія.



Мал. 169. Схема будови клітини за уявленнями 20-х років XX ст.: 1 — цитоплазма; 2 — центріоль; 3 — ядерце; 4 — ядро; 5 — вакуоль

Перевірте себе

1. У чому полягає особливість уявлень про будову живих істот, що склалися в XVII–XVIII ст.?
2. Які найважливіші відкриття в будові клітин було зроблено на початку XIX ст.?
3. У чому суть основного положення клітинної теорії Т. Шванна і яким ще принципово важливим положенням її було доповнено?

Як ви вважаєте?

1. Чому клітинний принцип будови організмів є одним із найголовніших постулатів сучасної біології?
2. У чому полягає внутрішній зв'язок таких понять, як матричний синтез і принцип «кожна клітина — з клітини»?
3. Порівняйте, в чому змінився сенс поняття клітина від Гука до Шванна і до сучасного сприйняття клітини.

§32. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛІТИН

Терміни та поняття: мікроскопія: світлова, електронна, центрифугування, авторадіографія, мікрохірургія, метод культури клітин, гібридизація клітин, цитотехнологія, нанозонд.

Мікроскопія. Розмір клітин здебільшого становить від 0,001 до 0,1 мм, а відтак їх не можна побачити без мікроскопа. Більш того, клітини настільки малі, що їх будову неможливо не тільки вивчити, але й навіть зро-

зуміти без спеціальних збільшувальних приладів. Саме тому головним методом дослідження клітин є **мікроскопія** (від грец. *мікрос* — дрібний і *скопус* — бачу) — вивчення мікрооб'єктів за допомогою спеціальних приладів — **мікроскопів**.

Оптична мікроскопія. Відкриття клітинної будови всіх живих істот сталося завдяки винайденню **світлового мікроскопа** (*мал. 170*), в якому використовується збільшувальна здатність опуклих лінз. Цей прилад збільшує зображення дрібних предметів, яких не здатне сприйняти око людини, у 2 500 разів. В основу світлової мікроскопії покладено оптичні властивості світла, а межі роздільної здатності мікроскопа (мінімальна відстань між двома точками, які можна побачити окремо) визначаються довжиною світлової хвилі. Тому частки, коротші за довжину світлової хвилі, у звичайний мікроскоп розглянути неможливо. Око людини здатне розрізняти дві лінії, що розташовані на відстані 0,1–0,2 мм, а світловий мікроскоп допомагає розглянути два об'єкти, які розташовані один від одного на відстані близько 0,001 мм.



Мал. 170.
Сучасний світловий мікроскоп

Звичайна світлова мікроскопія призначена для вивчення пофарбованих препаратів на предметних скельцях. За допомогою світлової мікроскопії можна досліджувати рухливість мікроорганізмів. Для цього застосовують метод висячої краплі. Невелику краплю мікробної суспензії наносять на середину покривного скла. Предметне скло з поглибленням («лункою»), краї якого змазані вазеліном, обережно накладають на покривне скло так, щоб крапля досліджуваної рідини опинилася в центрі заглиблення, щільно притискають до скла і швидко перевертають догори. Для дослідження препарату використовують імерсійний об'єктив, який занурюють у імерсійну олію на покривному склі.

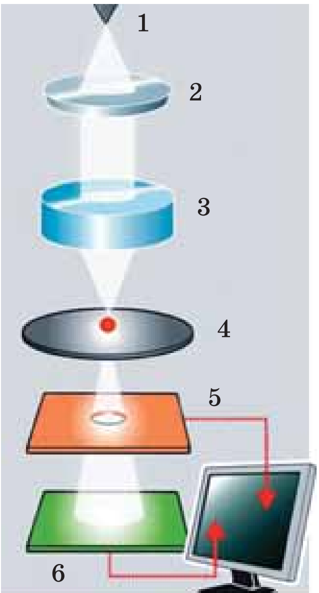
Сучасні мікроскопи поєднанні з комп'ютерами, вони здатні давати об'ємне зображення не тільки клітини, але й окремих її структур і зразу ж виводити їх на екран монітора.



Мал. 171.
Електронно-фонний скануючий мікроскоп «Quanta 200 3D»

Електронна мікроскопія (ЕС). У 50-ті роки XX ст. для дослідження клітини було застосовано **електронну мікроскопію** (*мал. 171*), завдяки якій стало можливим збільшувати зображення мікрооб'єктів у сотні тисяч разів. Якщо прийняти роздільну здатність ока людини за одиницю, то роздільна здатність світлового мікроскопа дорівнюватиме 500 одиницям, а електронного — 100 000! Принцип дії електронного мікроскопа відрізняється від світлового тим, що на клітинні структури діє не потік фотонів, а потік електронів, довжина хвилі якого у мільйони разів менша за довжину хвилі світла. Саме це дає змогу розглянути найдрібніші частини

клітин, розмір яких становить тисячні частки міліметра. Біологічні об'єкти для досліджень методом ЕМ поміщають на мідні сіточки, що вкриті тонкими плівками (вольфрам, вуглець), що складаються в основному з вуглецю. Біологічні об`єкти також в основному містять вуглець, тому по щільності лише трохи відрізнятися від фона, будуть мало контрастними. Контраст біологічних об'єктів можна підвищити, використовуючи важкі метали або їх солі. Механізм роботи електронного мікроскопа полягає в наступному: потік електронів, джерелом якого є вольфрамова нитка розжарення (нагадує ту, що є в звичайній лампочці), спочатку за допомогою магнітів фокусують, а потім спеціальними лінзами спрямовують на досліджуваний об'єкт. Далі отримане зображення за допомогою інших лінз збільшують, а потім воно потрапляє на екран, де можна спостерігати зображення об'єкта (*мал. 172*). Якщо зображення спроектовано на фотопластинку — це **електронна мікрофотографія**.



Мал. 172. Принцип роботи електронного мікроскопа: 1 — електронна пушка; 2 — анод; 3 — магнітні лінзи; 4 — зразок; 5 — дифракційна картина; 6 — зображення

За допомогою електронного мікроскопа було детально вивчено будову клітинної мембрани і цитоплазми. Це дало змогу дійти висновку, що клітина, всупереч попереднім уявленням про неї як про мішечок з рідиною, насправді всередині має густу сітку каналів, утворених мембранами. Електронно-мікроскопічні дослідження нерозривно пов'язані з вивченням хімічних процесів, що відбуваються у клітині.

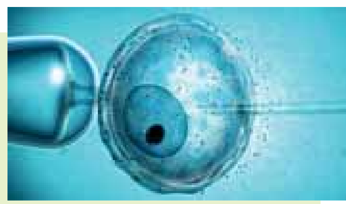
Фізичні методи дослідження. Особливим фізичним методом дослідження клітин є **центрифугування**. За допомогою лабораторних центрифуг відбувається розкладання клітинних структур на компоненти відповідно до їх питомої ваги. Так вивчаються властивості не лише кожної частини клітини, а й окремих молекул ДНК, РНК або білка.

Крім того, важливим методом вивчення клітин стала **авторадіографія**. Для цього до середовища, що оточує клітину, додають радіоактивні речовини, наприклад радіоактивний оксид вуглецю. Клітина його поглинає, і він починає брати участь у хімічних реакціях, розподіляючись по цитоплазмі. Потім тонкі зрізи клітин поміщають на плівку, чутливу до радіоактивного опромінення. В місцях, де знаходиться радіоактивна речовина, з'являються темні плями — клітина начебто сама себе фотографує (звідси і пішла назва авторадіографія). Розглядаючи такі мікрофотографії, можна відстежити не лише стадії синтезу речовин у клітині, але й визначити, в яких саме частинах клітини йде цей процес і навіть його швидкість.

Дослідження живих клітин. Одним із найцікавіших методів дослідження клітини є **мікрохірургія**. Саме за

допомогою цього методу здійснюється перенос окремих органел (ядер, хлоропластів, пластидів клітинних мембран) з однієї клітини до іншої (*мал. 173*). Завдяки мікрохірургії було виявлено функцію ядра як органа, що визначає форму клітини й характер її функціонування.

За допомогою мікроманіпулятора клітини розрізають, витягують з них частини, вводять речовини (мікроін'єкції) тощо. Мікроманіпулятор поєднують із звичайним мікроскопом, в який спостерігають за ходом операції. Мікрохірургічними інструментами слугують скляні гачки, ігли, капиляри, що мають мікроскопічні розміри. При мікроманіпуляціях клітини поміщають у спеціальні камери, в які вводят також інструменти. Так, за допомогою мікроманіпулятора вдалося пересадити ядра від одного штама амеби другому і довести, що саме ядро визначає фізіологічні особливості клітини в цілому. За допомогою таких мікрохірургичних інструментів можна вводити в живу клітину антитіла або інші білкові молекули. Окрім механічного впливу на клітини в мікрохірургії останніх часів широко застосовують мікропучки ультрафіолетового світла або лазерні мікропучки. Це дозволяє практично моментально інактивувати окремі ділянки живої клітини.



Мал. 173.
Мікрохірургічна операція на клітині

Окремою галуззю клітинної біології є **метод культури клітин**, за якого ізольовані клітини тварин і рослин переносять у спеціально створене середовище, де клітини здатні не лише жити, а й розмножуватися. Особливий інтерес становить **гібридизація клітин**, коли клітини різних організмів, наприклад тютюну й троянди, або людини й миші, після попередньої обробки «зливають» в одну клітину. Із гібридних рослинних клітин можуть вирости справжні рослини, а у тварин такі клітини нежиттєздатні.

Метод зондування. Протягом останніх років були зроблені численні спроби спроектувати, апробувати та впровадити як ефективний засіб дослідження живої клітини **нанозонд**. Американськими науковцями створено зонд, який дозволяє проводити моніторинг електрохімічних та біохімічних процесів, що відбуваються у живій клітині та окремих її органелах. Розробники приєднали до зонда, який проводить електричний струм, нанотрубку з бор нітриду (BN), що має відігравати роль ізолятора наноелектрода. Після цього пристрій вкрили шаром золота завтовшки 10–15 нанометрів, зверху нанесли полімерне покриття. Завдяки тому, що нанотрубку приєднали до більш масивної основи, маніпулювання «робочим зондом» у клітині спростилося. Експериментальний зразок настільки мініатюрний, що його можна занурити у ядро чи окрему мітохондрію.

Шведські науковці розробили внутрішньоклітинний наносенсор, який вимірює рівень клітинного pH, що дозволяє визначити стан клітини. У ролі наносенсорів вони використали наноштирі з цинк(II) оксиду діаметром 80–100 і довжиною 900 нанометрів, які настільки чутливі, що можуть визначати окремі хімічні сполуки в різних частинах живої клітини. Сенсор має вигляд голки, на кінці якої розміщено зонд діаметром 1,4 мікрона. Завдяки великій кількості складових частин зонд може вимірювати навіть слабкий електромеханічний потенціал, який супроводжує приєднання різноманітних біомолекул. Зонд не завдає шкоди клітині і дозволяє зберегти її життєздатність і після вимірів.

Клітини — це надзвичайно малі за розміром об'єкти, тому їх можна вивчати виключно за допомогою спеціальних методів і приладів. Головним способом дослідження клітин була, є і буде мікроскопія. Останнім часом з'явилися нові методи дослідження клітини: мікрохірургія, цитотехнології тощо.

Перевірте себе

1. Що обмежує роздільну здатність світлового мікроскопа?
2. Яким чином використання електронного мікроскопа сприяло вивченню будови клітини?
3. Чому метод авторадіографії отримав таку назву?
4. Назвіть сучасні методи дослідження клітин, вкажіть їх переваги та недоліки.
5. Для чого потрібні методи дослідження живих клітин?

Як ви вважаєте?

1. Чому гібридні клітини рослин є життєздатними, а у тварин вони існують протягом дуже нетривалого часу?
2. Яким Ви бачите подальший розвиток методів дослідження клітини?

§33. СУЧАСНА КЛІТИННА ТЕОРІЯ

Терміни та поняття: теорія клітинної будови організму, закон Вірхова, принцип спільності походження всього живого.

Клітинна теорія — це узагальненні уявлення про будову клітин як одиниць живого, про їх розмноження та роль у формуванні багатоклітинних організмів.

Виникненню та формулюванню окремих положень клітинної теорії передував досить тривалий (біля трьохсот років) період накопичення відомостей про будову різних одноклітинних та багатоклітинних організмів

рослин та тварин. Цей період пов’язаний з розвитком застосування та вдосконалення разних оптичних методів дослідження. Як вам вже відомо, Роберт Гук першим спостерігав за допомогою збільшуючих лінз поділ тканин корку на комірки, або клітини. Пізніше А. Левенгук відкрив світ одноклітинних організмів та вперше побачив клітини тварин (еритроцити). Після нього клітини тварин були описані Ф. Фонтаною; але ці та інші дослідження не призвели у той час до розуміння універсальності клітинної будови, до чітких уявлень про те, що ж являє собою клітина.

Прогрес у вивченні мікроанатомії та клітини пов’язаний із розвитком мікроскопії у XIX столітті. До цього часу змінилися уявлення про будову клітин: головним в організації клітини почала вважатися не клітинна стінка, а саме її вміст. Усі ці спостереження дозволили Т. Шванну у 1838 році зробити ряд узагальнень. Він показав, що клітини рослин і тварин подібні за будовою (гомологічні). Майже 200 років положення, сформульоване Т. Шванном, залишається ключовим у клітинній теорії та одним з основоположних принципів науки про живе. Виходячи з теорії клітинної будови організмів, можна стверджувати, що життя і його відтворення поза клітиною неможливі і всі організми, які живуть на Землі, складаються з клітин. Це стосується як мікроскопічних одноклітинних організмів, так і гігантів світу тварин і рослин, тіло яких побудоване з трильйонів клітин.

Подальший розвиток ці уявлення отримали в роботах Р. Вірхова.

Клітина від клітини. «Будь-яка клітина — від клітини» (*Omnis cellula e cellula*) — цей афоризм пов’язаний з ім’ям видатного вченого Р. Вірхова.

На сьогодні сформульоване Р. Вірховим означення можно вважати біологічним законом.

Розмноження клітин прокаріотичних та еукаріотичних відбувається лише шляхом ділення вихідної клітини, якому передує відтворення її генетичного матеріалу.

Одноклітинні організми розмножуються лише поділом материнської клітини. Головним способом розмноження багатоклітинних організмів є статеве розмноження, яке здійснюється за допомогою спеціальних статевих клітин. Крім того, рослини і гриби утворюють спори — клітини, що слугують для розмноження. (*Пригадайте, чим відрізняється спора від статевих клітин.*) Саме тому більшість багатоклітинних істот, що складаються з мільярдів клітин, беруть початок від окремих клітин, або двох клітин, що злилися.

Усупереч тому, що принцип «кожна клітина — з клітини», сформульований у період зародження сучасної біології, був визнаний більшістю вчених того часу, неодноразово робилися спроби переглянути його. Адже протягом майже ста років (аж до 50-х років XX ст.) ще з'являлися псевдонаукові теорії, які пояснювали виникнення клітин з якоїсь «живої речовини».

Спільність походження всього живого. Клітини, незалежно від їх будови і функцій, складаються з однакових хімічних елементів; найважливішою речовиною живих клітин є вода, а найпоширенішими йонами — K^+ і Na^+. Основна будівельна і функціональна речовина всіх без винятку клітин — білок; джерело енергії — жири і вуглеводи, а носій спадкової інформації — ДНК.

Основою єдиного плану будови клітин є їх трикомпонентність. Це означає, що всі клітини еукаріотичних організмів (рослин, грибів і тварин) неодмінно мають ядро, зовнішню мембрану і цитоплазму.

У всіх клітинах, попри відмінності в їх будові і функціональному призначенні, відбуваються подібні ключові метаболічні процеси: окиснення жирів і вуглеводів, синтез білків, РНК і ДНК.

Клітини всіх організмів мають хромосоми, у яких містяться одиниці спадковості — гени. У генах «записано» план розвитку і будови організмів, колір волосків, лусок і пір'їн і навіть інстинктивні реакції тварин, форму листка і колір пелюсток квітки рослин. В еукаріотів генетичний апарат розташований у ядрі. У найпримітивніших — прокаріотичних організмів — немає ядра як відокремленої структури, хоча в цитоплазмі є чітко визначене місце, що називається ядерною ділянкою. Тут, як і в ядрі еукаріотів, міститься ДНК.

Сучасна клітинна теорія. Створення клітинної теорії стало найважливішою подією в біології, одним із рішучих доказів єдності всієї живої природи. Клітинна теорія мала значний і вирішальний вплив на розвиток біології, слугувала головним фундаментом для розвитку таких дисциплін, як ембріологія, гістологія та фізіологія. Вона дала основу для розуміння життя, для пояснення родинних взаємозв'язків організмів, для розуміння механізму індивідуального розвитку.

Положення класичної клітинної теорії.

1. Усі живі організми побудовані з однієї або більшої кількості клітин.
2. Клітина — це основна одиниця життя.
3. Кожна клітина виникає із клітини.
4. Клітина одиниця структури функціонування й організації живих істот.
5. Клітина існує як самостійна структура і разом з тим є частиною всього організму.

Клітинна теорія, яка відповідає сучасному рівню знань в біології, за багатьма положеннями кардинально відрізняється від уявлень про клітину не лише початку XIX століття, коли Т. Шванн сформулював її перше твердження, але й навіть середини XX століття. У наш час це — система наукових поглядів, що набула вигляду теорій, законів і принципів.

Основні положення клітинної теорії зберегли своє значення і до сьогодні, хоча більш ніж за сто п’ятдесят років було отримано нові відомості про структуру, життєдіяльність та розвиток клітин.

Сучасне трактування клітинної теорії

1. Клітина — елементарна одиниця живого: поза клітиною життя не існує.
2. Клітина — єдина система, що складається із багатьох взаємопов’язаних елементів, які являють собою певне цілісне утворення, що складається із функціональних одиниць — органел.
3. Клітини подібні — гомологічні — за будовою та за основними характеристиками.
4. Кожна клітина походить від клітини: кількість клітин збільшується шляхом їх поділу.
5. Багатоклітинний організм являє собою складний ансамбль з багатьох клітин, які об’єднані в тканини і органи, що пов’язані між собою й підпорядковані нервовій і гуморальній регуляції.
6. Клітини багатоклітинних організмів рівнозначні за генетичною інформацією, але відрізняються одна від одної різними функціями різних генів, що приводить до їх морфологічного та функціонального різноманіття.

! **Клітинна теорія, можливо, є найважливішим узагальненням сучасної біології і являє собою систему принципів і положень. Вона є науковим підґрунтям для багатьох біологічних дисциплін, що вивчають питання будови й життєдіяльності живих істот. Клітинна теорія розкриває механізми росту, розвитку й розмноження організмів.**

Перевірте себе

1. У чому полягає суть теорії клітинної будови організмів?
2. Які важливі загальнобіологічні положення випливають із закону Вірхова?
3. Які аргументи підтверджують гомологічність клітин усіх організмів?
4. Яким чином сума активностей клітин визначає активність організму?

Як ви вважаєте?

1. Чому створення клітинної теорії є одним із найбільш видатних досягнень в галузі природознавства?
2. Чому у сучасній біології положення про генетичну безперервність стосується не тільки клітини в цілому, але й окремих її складових, зокрема митохондрій, хлоропластів, генів і хромосом?

§34. РОЗМІР, ФОРМА І ЗАГАЛЬНИЙ ПЛАН БУДОВИ КЛІТИНИ

Терміни та поняття: мікоплазми, загальний план будови клітини, клітинна мембрана, цитоплазма.

Яким має бути розмір клітини. Як уже зазначалося, звичайні клітини, з яких побудовані тіла тварин і рослин, а також переважна більшість одноклітинних істот, непомітні для людського ока. Їх діаметр коливається від 0,001 до 0,1 мм. Довжина усередненої клітини людини близько 0,03 мм. Із чим пов'язаний такий їх невеликий розмір? Чому природа в процесі еволюції не довела розміри клітин, наприклад ссавців, хоча б до розмірів рисового зернятка?

Учені підрахували, що найменший розмір клітини, яка міститиме мінімум ДНК, матиме свій синтетичний і енергетичний апарат, має бути в межах однієї тисячної міліметра. Виявилося, що розрахунки вірні, є такі організми — це одні із найбільш просто організованих бактерій — **мікоплазми**, діаметр їх клітин становить 0,0002–0,0003 мм. Вони настільки малі, що їх розмір виходить на рівень роздільної здатності світлового мікроскопа. (*Пригадайте, яку роль у природі відіграють ці організми.*)

У міру розвитку рівня організації клітини еволюційно більш розвинутих організмів повинні збільшуватися в розмірах. Адже їм необхідно мати більш досконалий генетичний апарат, який синтезував би більшу кількість різноманітних білків, що дозволило б клітинам здійснювати більше функцій.

Збільшення розмірів генетичного апарату неминуче приведе до зростання вмісту ДНК у клітині й відповідно до збільшення розмірів самої клітини. Дійсно, подібна закономірність має місце (*мал. 174*). Якщо зазвичай довжина бактеріальної клітини становить 1–10 мкм, то еукаріотичної — 10–100 мкм. Наприклад, довжина клітин найбільших бактерій становить тільки 0,002 мм, тоді як найменші клітини людини (малі лейкоцити) мають діаметр 0,003–0,004 мм. Нерівнозначність розмірів

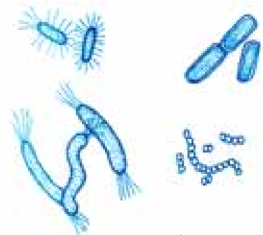
клітин має місце і серед еукаріотів. Як правило, клітини комах менші за клітини хребетних тварин, і це цілком природно — в останніх генетичний апарат влаштований складніше. Проте, незважаючи на очевидну тенденцію щодо збільшення розмірів клітин, пов'язану зі зростанням рівня організації, вони все одно залишаються мікроскопічними. Очевидно, оптимальна клітина має ті самі розміри, що і клітини людини — в середньому 0,02–0,04 мм.

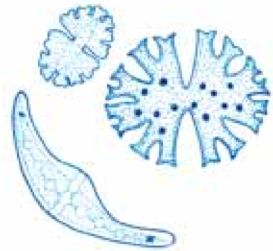
Чому ж розміри клітин не перевищують цю межу? Річ у тім, що розмір клітини регулює співвідношення між її поверхнею й об'ємом. Хімічні реакції йдуть по всьому об'єму клітини, який при збільшенні лінійних параметрів росте в кубічній залежності. Ці процеси перетворення речовин забезпечуються надходженням речовини й енергії через поверхню клітини, площа якої зростає квадратично. Це означає, що при збільшенні розмірів клітини її поверхня «відстає» від її об'єму. Незважаючи на жодні переваги, що надає великий генетичний апарат, клітини все одно залишаються мікроскопічними. Отже гігантські тварини і рослини стають такими не за рахунок збільшення розмірів самих клітин, а за рахунок їх величезної кількості.

У природі безліч клітин-гігантів. Найбільшими клітинами вважають яйцеклітини хребетних тварин — риб, земноводних, рептилій і птахів. Яйцеклітина кісткової риби чи жаби — це ікринка, а птаха — жовток яйця. Вважається, що найбільші за розмірами яйця мали стародавні величезні ящури — динозаври і викопні нелітаючі птахи — *епіорніси*. Маса цих птахів була близько 500 кг! Їхні яйця мали діаметр 28 см, а об'єм складав 8–9 л.

Серед сучасних птахів найбільшим є яйце африканського страуса (*мал. 175*), його діаметр 22 см, а об'єм до 2 л. За рахунок чого вдається яйцеклітинам бути такими великими? Річ у тім, що цитоплазма яйцеклітин здебільшого заповнена запасними речовинами, клітина перебуває у стані відносного спокою і не потребує великої кількості кисню.

Багато рослинних клітин, особливо у зрілих плодах, настільки великі, що добре помітні неозброєним оком. Такі розміри досягаються за рахунок гігантської вакуолі, що займає в клітині всю її центральну частину, і яка притискає цитоплазму до клітинної оболонки, полегшуючи їй у такий спосіб обмін речовинами з навколишнім середовищем. Найбільшими клітинами людини є нейрони, й хоча тіло нейрона не більше, ніж у звичайної клітини, та його відростки досягають у великих ссавців декількох метрів. Виявляється, у тіла, що має форму труби, наростання об'єму відносно поверхні йде набага-


а)

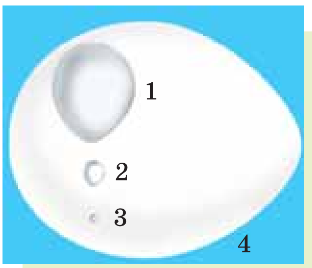

б)


в)

Мал. 174.
Відносні розміри клітин: *а* — прокаріотичних організмів (бактерій) і одноклітинних еукаріот; *б* — одноклітинних водоростей; *в* — найпростіших (амеби)

то меншими темпами, ніж у кулястого. В результаті співвідношення клітинного обсягу нейрона, що збільшується за рахунок аксонів, незначно випереджає ріст поверхні клітини. (*Окресліть причинно-наслідкові зв'язки між розміром і функцією клітини, наведіть приклади.*)

Якої форми повинна бути клітина. Якщо виходити із законів фізики, то клітина повинна мати форму кулі — таку саму, як у мильної бульки. Ця форма є ідеальною, оскільки в цьому випадку натяг розподіляється рівномірно по всій поверхні. Однак у живій природі часто буває не так, як у неживій. Клітини округлої форми вкрай рідкісні, вони поширені тільки серед примітивних нерухливих бактерій, трапляються також поміж нерухливих водоростей і яєць тварин. Частіш за все клітини мають витягнуту, еліпсоподібну або циліндричну форму. Причина та сама — співвідношення об'єму й поверхні. В ідеальній кулі співвідношення між поверхнею й об'ємом мінімальне, тоді як перехід від кулястої форми до еліпсоподібної автоматично приводить до відносного збільшення поверхні. (*Пригадайте формулу визначення об'єму кулі та еліпса.*) Отже, за інших рівних умов це сприяє набагато більш ефективному надходженню речовини та енергії до вмісту клітини. Крім того, великі клітини мають неправильну форму, яка збільшує їх поверхню. Для них характерні ворсинки, відростки або випинання. (*Пригадайте, амеби — це одні з найбільших найпростіших, їх цілком може побачити людина з гарним зором.*) Багато клітин мають сплюснуту форму, що також збільшує їх поверхню.



Мал. 175.
Порівняння розмірів яйцеклітин теплокровних тварин:
1 — куряче яйце — 60x45 мм;
2 — яйце колібрі — 18x8 мм;
3 — яйцеклітина людини — 0,1 мм;
4 — яйце страуса — 170x135 мм

Аби самому переконатися в тому, що в природі немає клітин ідеальної кулястої форми, досить подивитися на пташині яйця (*мал. 175*). Незважаючи на несхожість форм у різних видів, вони завжди яйцеподібні — тобто у розрізі подібні до еліпса.

Форма клітин багато в чому залежить від функцій, які вони виконують. Клітини, пов'язані із транспортуванням речовин, наприклад еритроцити, — дрібні, округлі, мають форму диска. Клітини епідермісу, який виконує захисну функцію, — середнього розміру, зірчастої довгасто-кутастої форми. Лімфоцити нагадують амеб. Нейрони, завданням яких є передача нервових сигналів, мають довгі відростки, сперматозоїди — одні з найбільш стародавніх клітин багатоклітинного організму — рухливий хвостик, яйцеклітини завжди великі й кулястої форми. (*На конкретному прикладі доведіть зв'язок між формою клітини та її функцією.*)

Яким є загальний план будови клітини. Усі клітини, незважаючи на різноманітність форми й розмірів, відмінності в яких навіть в одного біологічного виду мо-

жуть досягати мільйонів разів (співвідношення обсягів людського сперматозоїда і яйцеклітини), мають **загальний план будови.** У чому він полягає? Всі одноклітинні організми (бактерії, найпростіші, водорості), а також клітини вищих рослин, грибів і тварин мають: **поверхневий апарат**, який розташований на поверхневій плазматичній мембрані; **цитоплазму** — внутрішнє середовище клітини, у якому відбувається більшість хімічних процесів, а також **генетичний апарат**, який у еукаріотичних організмів зосереджений у **ядрі.** (*Пригадайте інші спільні риси будови клітин одного організму, різних систематичних груп, царств.*)

Головним чинником, що визначає розмір і форму клітини, є співвідношення її об'єму до поверхні. Саме воно визначає розмір клітини, який, як правило, є мікроскопічним, і оптимальну форму, яка наближається до еліпсоподібної.

Клітини всіх живих організмів мають єдиний план будови, зумовлений їх трикомпонентністю — усі клітини без винятку складаються з поверхневого апарату, цитоплазми і генетичного апарату (ядра у еукаріотів).

Перевірте себе

1. Що визначає мінімальний розмір клітини?
2. Що не дає клітині збільшуватися в розмірах?
3. Чому серед клітин людини немає клітин з формою ідеальної кулі?
4. Що таке загальний план будови клітини? У чому він полягає?

Як ви вважаєте?

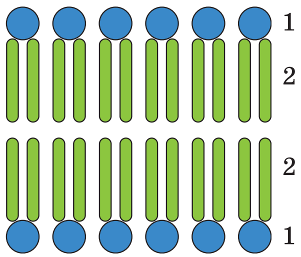
1. Які є підстави стверджувати, що середні за розмірами клітини ссавців є взагалі оптимальними за розмірами?
2. Чому еритроцити мають форму диска?
3. Деякі вчені вважають, що клітина побудована з двох складових — клітинної мембрани та цитоплазми. Як вважаєте ви? Аргументуйте свою точку зору.

§35. СТРУКТУРА І ФУНКЦІЇ ПЛАЗМАТИЧНОЇ МЕМБРАНИ

Терміни та поняття: клітинна (плазматична) мембрана, рідинно-мозаїчна модель, дифузія, активний та пасивний транспорт, калій-натрієвий насос, ендоцитоз, фагоцитоз, піноцитоз, рецептори.

Що таке клітинна мембрана. Клітинна, або **плазматична, мембрана (плазмалема)** — основний будівельний матеріал клітини, вона вкриває її поверхню, тобто формує

межу між клітиною і зовнішнім середовищем, поділяє клітину на функціональні відсіки, утворює ядерну оболонку і переважну частину органел клітини. Не випадково клітинна мембрана є найбільшою за масою структурою клітини.



Мал. 176.
Схема розташування ліпідних молекул, які утворюють подвійний шар:
1 — полярні кінці, що повернуті назовні;
2 — неполярні кінці, що знаходяться в середині

Думку про наявність на поверхні клітини особливої плівки, що має властивість вибіркової проникності, вчені висловлювали задовго до того, як з'явилася можливість її розглянути. Вже тоді цю плівку називали плазматичною мембраною і визначили її фізичні властивості. Заряджені молекули проникають у клітину повільніше, ніж незаряджені. Усе це сприяло формуванню уявлення про клітинну мембрану як **напівпроникну** дуже тонку заряджену плівку, її основу складають ліпіди (*мал. 176*).

Структура клітинної мембрани. Дослідження ультратонких зрізів клітин за допомогою електронного мікроскопа довели, що клітинна мембрана складається з трьох шарів: двох зовнішніх темних і внутрішнього світлого (*мал. 177*). Подібна структура виникає і при спробах створити штучну мембрану, коли у воді змішують фосфоліпіди і білки. (*Пригадайте, у чому полягає особливість будови фосфоліпідів.*) Тому було висловлено припущення, що клітинна мембрана — це структура з білків і ліпідів, у якій останні переважають. Згодом з'ясувалося, що до складу клітинної мембрани входять фосфоліпіди, гліколіпіди і холістирол. Було встановлено, що наявність подвійного ліпідного шару пов'язана з особливостями будови фосфоліпідів, молекули яких асиметричні й мають гідрофільний кінець з електричним зарядом, і гідрофобний — нейтральний. До того ж вони упаковані так, що їх заряджені частини обернені до зовнішньої і внутрішньої поверхонь клітини, а гідрофобні — «ховаються» в товщі мембрани. Важливу частину мембрани складають білки, що пронизують її. Саме вони формують різноманітні властивості мембран. Склад білків та характер їх розташування в різних мембранах неоднаковий. З'ясувалося, що неодмінним компонентом мембрани є вуглеводи, які утворюють сполуку з ліпідами. Клітинні мембрани бувають асиметричними, коли два шари відрізняються за складом ліпідів. Внаслідок чого ускладнюється перехід молекул з одного шару мембрани в інший.



Мал. 177.
Електронна мікрофотографія плазматичних мембран двох клітин, що лежать одна біля одної

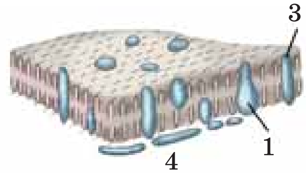
Нині загальноприйнятою вважають **рідинно-мозаїчну модель** будови клітинних мембран. Таку назву вона дістала тому, що близько 30 % ліпідів мембран міцно зв'язані з внутрішніми білками, а інша їх частина перебуває в рідкому стані. Тому комплекси білків і пов'язаних із ними ліпідів наче «плавають» у рідкій ліпідній масі (*мал. 178*). У молекул ліпідів, розташованих у вигляді подвійного шару, полярні гідрофільні «голівки» обернені до зовнішньої та внутрішньої сторони мембрани, а гідро-

фобні неполярні «хвости» — всередину. Тому, якщо поглянути зверху на мембрану, вона нагадуватиме мозаїку, створену полярними «головками» ліпідів і молекулами білків, розташованими поверхнево або перетинаючи мембрану. Між молекулами білків або їх частинами часто є пори (канальці). Молекули, які входять до складу біологічних мембран, здатні пересуватись, тому за незначних пошкоджень мембрани швидко оновлюються.

Функції клітинної мембрани. Клітинна мембрана насамперед захищає внутрішнє середовище клітини від несприятливих впливів і бере участь у процесах обміну речовин із навколишнім середовищем. Вона утворює вирости, мікроворсинки, які значно збільшують поверхню клітини. У клітинній мембрані розташовані деякі ферменти, необхідні для обміну речовин.

Структурна функція. Клітинна мембрана — основний будівельний матеріал клітини. З неї формується клітинна поверхня, за її допомогою цитоплазма поділяється на функціональні відсіки, у ній утворюються канали і порожнина, формується ядерна оболонка і складається тіло багатьох органел.

Бар'єрна функція. Клітинна мембрана міститься на поверхні клітини і є бар'єром, який запобігає вільному проникненню речовин у клітину. До того ж вона здатна не тільки обмежувати проникнення певних молекул, а й активно виштовхувати їх з клітини. Тому хімічний склад цитоплазми клітини відрізняється від хімічного складу навколишнього середовища. Зокрема, іонів Na^+ у міжклітинній рідині у 100 разів більше, ніж у цитоплазмі, а йони K^+, навпаки, накопичуються у клітинах в концентрації значно більшій, ніж зовні.



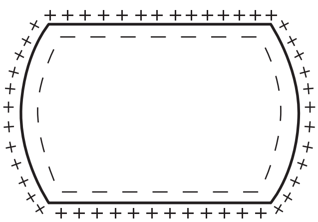
Мал. 178.
Модель мембрани тваринної клітини:
1 — білки, що занурені в клітинну мембрану;
2 — глюкопротеїди;
3 — бічні ланцюги складних полісахаридів, що стирчать назовні і виконують функції клітинних антен;
4 — білки, що знаходяться на внутрішній поверхні мембрани

Транспортна функція. Сполуки, потрібні для життєдіяльності клітин, а також продукти обміну речовин проникають через плазматичну мембрану за допомогою дифузії, пасивного чи активного транспорту. Нагадаємо, що **дифузія** (від лат. *диффузіо* — розлиття) — процес, за якого речовини проникають крізь певні ділянки і пори мембран унаслідок їх різної концентрації по обидва її боки. Цей процес відбувається без витрат енергії у результаті хаотичного теплового руху молекул.

Вибіркове проникнення речовин через мембрани забезпечує **пасивний транспорт**. Для нього, як і для дифузії, характерне переміщення речовин з боку, де концентрація вища. Пасивний транспорт забезпечується за участю рухомих мембранних білків-переносників; зміною просторової структури білків, які перетинають мембрану; та через канали у мембрані.

Активний транспорт речовин через біологічні мембрани пов'язаний із витратами енергії, оскільки не залежить від концентрації речовин, які мають потрапити в

клітину або вийти з неї. На цей процес впливає різниця концентрацій іонів Калію і Натрію у зовнішньому середовищі та всередині клітини (*мал. 179*). Тому його назвали **калій-натрієвим насосом**. Концентрація іонів Калію всередині клітини вища, ніж ззовні, а іонів Натрію — навпаки. Завдяки цьому іони Натрію надходять в клітину, а Калію — навпаки. Але концентрація цих іонів у живій клітині і поза нею ніколи не вирівнюється, оскільки існує особливий механізм, який іони Натрію «відкачує» з клітини, а Калій — «закачує» в неї. Цей процес потребує витрат енергії. Завдяки механізму калій-натрієвого насосу енергетично сприятливе (тобто таке, що сприяє вирівнюванню концентрації) пересування іонів Натрію в клітину, полегшує енергетично несприятливий (в бік вищої концентрації) транспорт низькомолекулярних сполук (глюкози, амінокислот тощо).



Мал. 179. Схематичне зображення трансмембранного потенціалу. В клітині, завдяки накопиченню іонів K^+, утворюється негативний заряд, а зовні — позитивний

Процеси дифузії, пасивного і активного транспорту властиві всім типам біологічних мембрани.

Існує ще один механізм транспорту речовин через мембрани, який називають ендоцитозом. Розрізняють два основні види **ендоцитозу**: фаго- і піноцитоз.

Фагоцитоз (від грец. *фагос* — пожирати) — це активне захоплення твердих об'єктів мікроскопічних розмірів (частинок органічних сполук, дрібних клітин та ін.) До фагоцитозу здатні лише певні типи клітин тварин. Адже на відміну від клітин прокаріотів, рослин і грибів, вони позбавлені щільної клітинної стінки. За допомогою фагоцитозу захоплюють їжу деякі одноклітинні (наприклад, амеби, форамініфери) та спеціалізовані клітини багатоклітинних (наприклад, травні клітини гідри) тварин (*наведіть інші приклади*). Макрофаги за допомогою фагоцитозу здійснюють захисну функцію. Вони захоплюють і перетравлюють сторонні частки і мікроорганізми. Явище фагоцитозу в 1892 р. відкрив видатний український учений І.І. Мечников.

Процес фагоцитозу відбувається в кілька етапів. Спочатку клітина зближується з об'єктом, який має захопити. Під час безпосереднього контакту плазматична мембрана клітини огортає об'єкт і проштовхує його в цитоплазму. Так утворюється пухирець, вкритий мембраною (наприклад, травна вакуоля). В цей пухирець надходять гідролітичні ферменти, які перетравлюють захоплений об'єкт, а неперетравлені рештки виводяться з клітини (*мал. 180*).

Піноцитоз (від грец. *піно* — п'ю) — процес поглинання клітиною рідини разом із розчиненими у ній сполуками. Він нагадує фагоцитоз, але відбувається здебільшого за рахунок впинання мембрани.

Плазматичним мембранам властива і ферментативна активність: вони містять деякі ферменти, які беруть

участь у регуляції обміну речовин і перетворенні енергії. Мембранні білки — антитіла — здійснюють захисну функцію. Вони здатні зв'язувати антигени (мікроорганізми і речовини, які клітина сприймає як чужорідні), запобігаючи їхньому проникненню в клітину. Отже, плазматична мембрана є однією з ланок захисного бар'єру організму.

У плазматичну мембрану вбудовані також сигнальні білки, здатні у відповідь на дію різних факторів навколишнього середовища змінювати свою просторову структуру і таким чином передавати сигнали до клітини. Отже, плазматична мембрана забезпечує подразливість організмів (тобто, їх здатність сприймати подразники і певним чином на них відповідати) і здійснює обмін інформацією між клітиною і навколишнім середовищем.

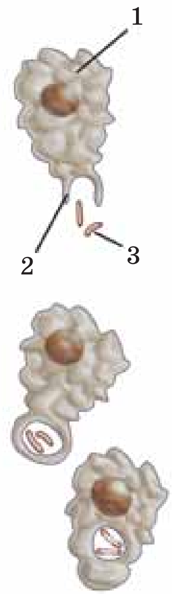
Важлива роль клітинних мембран і в процесах взаємоперетворення різних форм енергії: механічної (наприклад, рух джгутиків, війок), електричної (формування нервового імпульсу), хімічної (синтез високоенергетичних сполук).

Клітинні мембрани забезпечують міжклітинні контакти у багатоклітинних організмів. У місці сполучення двох клітин тварин, мембрана кожної з них здатна утворювати складки або вирости, які надають цьому сполученню особливої міцності. Клітини рослин сполучаються між собою завдяки утворенню мікроскопічних міжклітинних канальців, вистелених мембраною і заповнених цитоплазмою. Клітинні мембрани також беруть участь у рості, поділі клітин тощо.

Рецепторна функція. Будь-яка інформація і команди організму, що надходять до клітини ззовні, вловлюються клітинною мембраною, а точніше спеціальними **рецепторами** (від лат. *рецептор* — той, що сприймає), які містяться на поверхні клітини. Наприклад, дія гормонів ґрунтується на їх взаємодії зі спеціальними молекулами білка і зв'язаними з ними вуглеводами, що потрапили до клітинної мембрани.

Маркувальна функція. На кожній клітині є специфічні глікопротеїди, які відіграють роль клітинного «ярлику». Кожна така молекула складається з білка та кількох різних молекул олігосахаридів, які виконують роль антен. Оскільки молекули олігосахаридів різноманітні за будовою і можуть сполучатися з поліпептидним ланцюгом в різних місцях, то і число таких молекул стає нескінченно великим. Саме тому клітина кожного типу має свій особливий глікопротеїдний маркер, за яким вона можна себе відрізнити від інших. Завдяки цьому механізму різні клітини діють узгоджено при формуванні тканин та органів. Крім того, наявність цих маркерів дозволяє імунній системі чітко розпізнати свої та чужі клітини.





Мал. 180.

Схема фагоцитозу:
1 — клітина-фагоцит;
2 — псевдоподії;
3 — бактерії

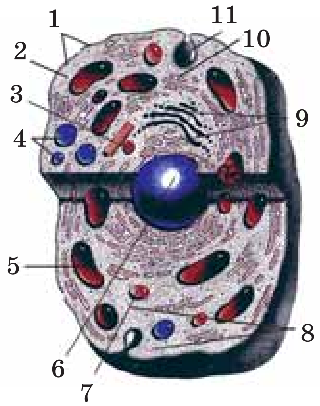
Клітинна мембрана створює бар'єр між клітиною і зовнішнім середовищем, активно здійснює транспортування речовин і запобігає проникненню шкідливих речовин, передає сигнали, які йдуть від внутрішнього середовища організму всередину клітини, і забезпечує взаємодію клітин.

Перевірте себе

1. Чим вважають плазматичну мембрану? Чому?
2. Які сучасні погляди на структуру клітинної мембрани?
3. Назвіть основні функції плазматичної мембрани.
4. Чим відрізняється пасивне перенесення речовин крізь мембрану від активного?
5. Який механізм роботи калій-натрієвого насоса?

Як ви вважаєте?

1. Чому головним компонентом плазматичної мембрани є ліпіди?
2. У чому полягає важливість дифузії для всіх живих організмів?
3. Про що може розповісти аналіз структури клітинної мембрани?



Мал. 181. Загальна будова тваринної клітини: 1 — плазматична мембрана; 2 — цитоплазма; 3 — центріоль; 4 — вакуоль; 5 — мітохондрія; 6 — ядро; 7 — лізосома; 8 — рибосома; 9 — комплекс Гольджі; 10 — ендоплазматична сітка; 11 — поліцитозні пухирці

§36. ОРГАНІЗАЦІЯ ЦИТОПЛАЗМИ КЛІТИНИ

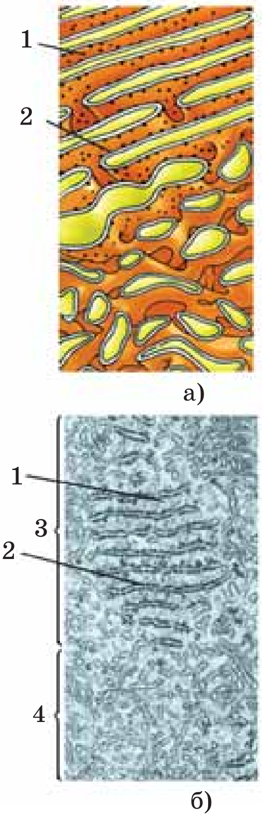
Терміни та поняття: цитоплазма, органели, включення, гіалоплазма (цитозоль), ендоплазматична сітка (шорстка і гладенька), рибосоми, комплекс Гольджі, диктиосома, лізосома, клітинне травлення, вторинна лізосома, мікротільця, вакуоль.

Що являє собою цитоплазма. **Цитоплазма** — це складова частина клітини, її неодмінний компонент (*мал. 181*). Цитоплазма так як і ядро багатокомпонентна. Навіть в світловий мікроскоп у цитоплазмі живої клітини можна побачити якісь вкраплення, неоднорідності, частинки. Особливо очевидною неоднорідність цитоплазми можна побачити при вивченні її в електронному мікроскопі. Формально структуру цитоплазми поділяють на три частини: органели, включення, гіалоплазма (основна плазма, цитозоль). Органели — обов'язкові для будь-якої клітини компоненти, без яких клітина просто не зможе підтримувати своє існування; включення — необов'язкові компоненти, які являють собою або відкладення запасних речовин (глікоген, білкові гранули), або скупчення продуктів метаболізму (пігменти, кристали солей тощо в рослинних клітинах). І органели, і включення занурені в гіалоплазму. Окрім структурних білків та ферментів, у

цитозолі у розчинному стані міститься велика кількість амінокислот, нуклеотидів та інших будівельних блоків біополімерів, а також метаболітів — проміжних продуктів, що виникають під час синтезу і розпаду макромолекул. Гіалоплазма містить значну кількість іонів, неорганічних сполук, таких як Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Cl^{-}, HCO_3^{-} тощо. При цьому концентрація цих іонів суворо детермінована та регулюється мембранними компонентами клітини.

Структура цитоплазми. У живій клітині щосекунди відбуваються тисячі хімічних реакцій. Причому зазвичай перетворення тих самих речовин мають протилежний характер (зокрема у клітинах рослин при фотосинтезі утворюється глюкоза, яка одночасно під час дихання розщеплюється), що потребує розведення біохімічних процесів у просторі. Саме тому цитоплазма клітини — це не безформна протоплазма, а структурно впорядкована система. Необхідність суворого поділу цитоплазми клітини на функціональні відсіки зумовлена ще й багатоступінчастістю реакцій обміну речовин, що вимагає їх певної послідовності. Продукт, отриманий в результаті першої ферментативної реакції, миттєво взаємодіє з іншим ферментом — вступає в наступну реакцію і так далі. Тому ферменти, які каталізують реакції того самого метаболічного циклу, зібрані в клітині в одному місці, а не розкидані по всій цитоплазмі.

Мембранні органели клітини. Ендоплазматична сітка (ендоплазматичний ретикулум). Ця органела була відкрита лише в 1945 р. за допомогою електронного мікроскопа. Згодом було встановлено, що всі клітини еукаріотів неодмінно містять складну систему, що являє собою сітку переплетених мембран, які сполучаються між собою. Ці мембрани поділяють цитоплазму на функціональні відсіки, а також формують у цитоплазмі порожнини. Разом це називається **ендоплазматичною сіткою** (ЕС) (*мал. 182*). Вона має різноманітну конфігурацію і може утворювати мішечки, трубочки і пухирці.



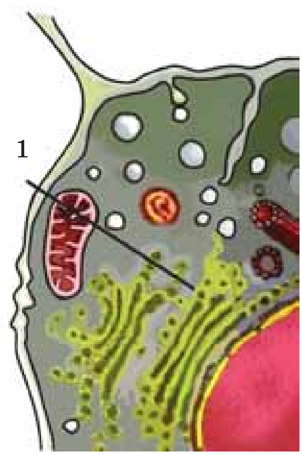
Мал. 182.
Модель (*а*) та електронна мікрофотографія (*б*) *ендоплазматичної сітки*:
1 — рибосоми;
2 — мембрана;
3 — шорстка ендоплазматична сітка;
4 — гладенька ендоплазматична сітка

Головними функціями ЕС є процес синтезу та транспортування білків і ліпідів. Саме в ЕС відбувається накопичення продуктів синтезу. Ця органела, після того як відбувся поділ клітини, бере участь в утворенні нової ядерної оболонки. Особлива форма ЕС, в якій зберігається запас іонів Ca^{2+}, міститься в м'язових клітинах і називається **саркоплазматичною** (від грец. *сакос* — м'ясо і *плазма*) **сіткою**.

Відповідно до того, чи має ЕС на зовнішній поверхні **рибосоми** (від *рибонуклеїнової кислоти* і грец. *сома* — тіло) — вкрай дрібні органели, які під електронним мікроскопом мають вигляд крапок, її поділяють на два типи: **шорстку** (гранулярну) і **гладеньку** (агранулярну).

Шорстка ЕС виконує дві головні функції. Перш за все, саме на рибосомах, які розташовані на поверхні ЕС, відбувається синтез поліпептидів. Потім утворені білкові ланцюги потрапляють до порожнини ЕС і відповідним чином згортаються, і з них формуються білки третинного рівня організації.

Гладенька ЕС не має рибосом і вважається похідною від шорсткої. Причому в деяких випадках один тип ЕС може переходити в інший. Функції гладенької ЕС більш різноманітні. Встановлено, що гранулярний ендоплазматичний ретикулум бере участь в багатьох етапах обміну речовин, зокрема, обміну вуглеводів. Тут відбувається синтез різноманітних ліпідів і стероїдів. Невипадково в клітинах печінки переважає ця форма ЕС.



Мал. 183. Схема клітини: 1 — розташування і вигляд *комплексу Гольджі*

Апарат, або комплекс, Гольджі. У 1898 р. італійський вчений К. Гольджі, використовуючи якості зв'язування важких металів (Осмія та Плюмбума) з клітинними структурами, виявив у нервових клітинах сітчасті утворення, які він назвав «внутрішнім сітчастим апаратом». Подальше удосконалення методу забарвлення металами дало можливість переконатися, що сітчасті структури (апарат Гольджі) зустрічаються в усіх тваринних клітинах. Зазвичай елементи апарата Гольджі розташовані біля ядра, поблизу клітинного центру (центріолі) (*мал. 183*). Ділянки апарата Гольджі, що були виявлені, мали в деяких клітинах вигляд складних сіток, де комірки були пов'язані між собою, або темних ділянок, що знаходилися окремо одна від одної і були подібні до паличок, зерен або дисків. Елементи апарата Гольджі, як правило, пов'язані з вакуолями.

Тривалий час у рослинних клітин не вдавалося виявити елементів апарата Гольджі звичайними методами мікротехніки. Однак з появою метода електронної мікроскопії елементи АГ було виявлено в усіх без виключення рослинних клітин, де вони розташовані по периферії.

У електронний мікроскоп видно, що апарат Гольджі являє собою мембранні структури, які зібрані разом у невеликій зоні. Окрема зона скупчення цих мембран — **диктиосома**. У диктиосомі щільно один до одного (на відстані 20–25 нм) містяться скупчені пласкі мембранні мішечки, об'єднані у стопки, або цистерни, між якими розташовані тонкі прошарки гіалоплазми.

У апараті Гольджі клітин тварин відбувається синтез довгих нерозгалужених полісахаридних ланцюгів.

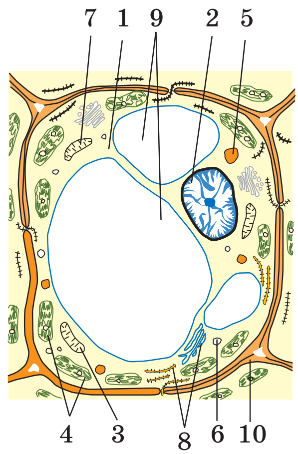
Лізосоми (від грец. лізіс — *розпад* і *сома* — тіло) — це невеликі округлі тільця, розташовані в цитоплазмі клітини. За походженням лізосоми — це пухирці, що відокремилися від комплексу Гольджі і являють собою порожнини, заповнені травними ферментами та оточені



елементарною мембраною. Ці ферменти здатні розщепити й перетравити будь-які білки, зокрема й власної клітини, а також білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди і ліпіди. Саме здатність перетравлювати ліпіди і дала цій органелі таку назву. Завдяки лізосомам відбувається **клітинне травлення**, за якого клітина розщеплює складні для засвоєння речовини. Особливо багато лізосом у клітинах, що здатні до піноцитозу і фагоцитозу. Крім того, за допомогою лізосом клітина захищається від чужорідних агентів, зокрема бактерій. Встановлено, що порушення функціонування лізосом призводить до розвитку багатьох небезпечних хвороб (ревматизму, артриту, злоякісних новоутворень).

Мікротільця — це також ферментовмісні органели, які є похідними ЕС і обов'язковими компонентами кожної еукаріотичної клітини. Вони оточені одним шаром мембрани і, на відміну від лізосом, містять ферменти, що каталізують окисно-відновні реакції. При цьому особливого значення набуває фермент каталаза, за допомогою якого руйнуються молекули гідроген пероксиду (H_2O_2) — високоактивної речовини, яка у високій концентрації є отрутою для будь-якої клітини.

Вакуолі (від лат. *вакуус* — пустий) — це необов'язковий компонент еукаріотичної клітини, ця структура має вигляд клітинних порожнин, які відокремлені від цитоплазми одним шаром клітинної мембрани. У найпростіших є скоротливі вакуолі, за допомогою яких з клітин виводиться надлишок води та отруйні кінцеві продукти розпаду макромолекул. У клітинах найпростіших і деяких примітивних багатоклітинних тварин (губок, кишковопорожнинних) є травні вакуолі, що містять травні ферменти. У деяких рослинних клітинах (*мал. 184*) вакуоля займає 90 % об'єму внутрішньої клітини, а тому притискує цитоплазму, органелу та ядро до мембрани. (*Чому це відбувається, які тканини рослин містять такі клітини?*) Головне призначення рослинної вакуолі — підтримувати тургор (*пригадайте, для чого він потрібний рослині*) і забезпечувати збереження розчинних у воді речовин. До того ж вакуолі можуть бути місцем, де накопичуються кінцеві продукти обміну.



Мал. 184.
Схема зрілої рослинної клітини:
1 — цитоплазма;
2 — ядро із хроматином;
3 — мітохондрія;
4 — хлоропласти;
5 — хромопласт;
6 — крохмальні зерна;
7 — апарат Гольджі;
8 — ендоплазматична сітка;
9 — вакуолі;
10 — клітинна стінка

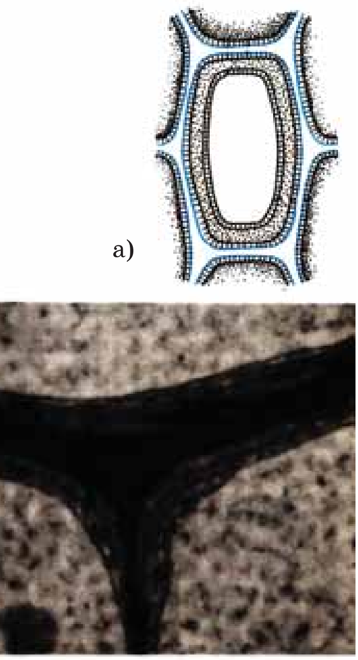
Цитоплазма еукаріотичної клітини має чітку структуру, яку формально поділяють на три частини: органели, включення та гіалоплазму (цитозоль). У кожній клітині існує єдина система мембран, з якої формується ціла низка органел (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, включення й вакуолі). Мембранні органели пов'язані між собою функціонально і мають спільне походження.

Перевірте себе

1. Чому принцип поділу цитоплазми клітини на функціональні відсіки є характерним для всіх клітин еукаріотів?
2. Чим відрізняються будова і функції гладенької і шорсткої ендоплазматичних сіток?
3. Яким чином сполучаються між собою КГ і ЕС?
4. Чому клітинам потрібні травні ферменти і як клітина запобігає перетравленню себе самої?

Як ви вважаєте?

1. Чому клітини рослин і тварин майже не відрізняються за організацією цитоплазми?
2. Чому в клітинах тварин зазвичай немає вакуолей?



а)

б)

Мал. 185. Схема типової будови клітинної оболонки рослин (*а*), а також вигляд стінок трьох сусідніх клітин в електронний мікроскоп (темна область у центрі — міжклітинна речовина) (*б*)

§37. ПОВЕРХНЕВИЙ АПАРАТ КЛІТИНИ

Терміни та поняття: надмембранні та підмембранні комплекси клітини, матрикс, фібрили, лігнін, тургор, глікокалікс, мікротрубочки, мікронитки.

Поверхневий апарат клітин складається зі структур, розташованих над плазматичною мембраною (**надмембранні комплекси**), самої мембрани, а також деяких структур під нею (**підмембранні комплекси**).

Що таке надмембранні комплекси клітин. У клітинах прокаріотів, грибів і рослин плазматична мембрана ззовні вкрита клітинною стінкою (*мал. 185*). У рослин вона складається переважно з нерозчинних у воді, зібраних у пучки волокон целюлози. Ці волокна утворюють каркас, заглиблений в основу — **матрикс** (від лат. *матрикс* — основа). Матрикс також складається здебільшого із полісахаридів.

Залежно від типу тканин рослин і функцій, які вони виконують, до складу клітинної стінки можуть входити й інші сполуки: ліпіди, білки, неорганічні сполуки (силіцій(IV) оксид, солі Кальцію тощо).

Наприклад, стінки клітин корка або судин просочуються жироподібними сполуками. Внаслідок цього вміст клітин відмирає, що сприяє здійсненню ними певних функцій (опорної або провідної). Клітинні стінки можуть і дерев'яніти, тобто проміжки між волокнами целюлози заповнюються особливою органічною речовиною — лігніном, що також сприяє виконанню опорної функції.

Через клітинні стінки рослин відбувається транспорт води і певних сполук. Проникність стінок рослинних клітин можна проілюструвати на прикладі явищ плазмолізу і деплазмолізу. Наприклад, якщо клітину зану-

рити у розчин з концентрацією солей, вищою, ніж у цитоплазмі, то вода виходитиме з неї. Це спричиняє явище **плазмолізу** (від грец. *плазма* — виліплення, утворення та *лізіс* — розчинення) — відшарування пристінкового шару цитоплазми від клітинної стінки.

Якщо ж клітину помістити у розчин солей з концентрацією нижчою, ніж у її цитоплазмі, то спостерігається зворотний процес: вода надходитиме в клітину, внаслідок чого зростає внутрішньоклітинний тиск. Це явище називають **деплазмолізом** (від лат. *де* — префікс, що означає відміну).

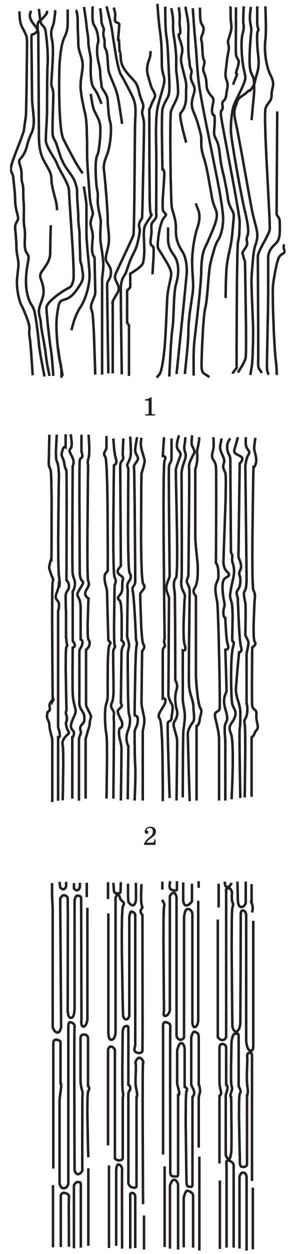
У різних груп грибів структура і хімічний склад клітинної стінки можуть розрізнятись. Як і у рослин, її основу складають різноманітні полісахариди (целюлоза, хітин тощо). До складу клітинних стінок деяких грибів можуть входити темні пігменти (меланіни), амінокислоти, фосфати та інші сполуки.

У прокаріотів структура клітинної стінки досить складна. У більшості бактерій вона складається з високомолекулярної сполуки — *муреїну*, який надає їй міцності. До складу клітинної стінки бактерій також входять білки, сполуки ліпідів з полісахаридами тощо.

У клітинах рослин оболонка здійснює насамперед механічні функції: слугує опорою і захищає від ушкоджень. Крім того, сукупність оболонок клітин, що містяться у стеблі, формує опору всій рослині. Під час росту клітину оточує лише первинна клітинна оболонка — тонка, еластична і здатна до розтягування. Вона складається з переплетених ниток клітковини і матрикса. Міжклітинний простір у рослинній тканині заповнений полісахаридом пектином, який відіграє роль цементу і з'єднує клітини рослин. Із припиненням росту між первинною стінкою клітини і клітинною мембраною починає формуватися вторинна клітинна стінка, яка складається з трьох шарів. Власне, вона й утворює тверду клітинну оболонку, завдяки якій клітина не може змінювати своєї форми.

Молекули целюлози, які містяться у клітинній оболонці, об'єднуються в особливі ниткоподібні структури — **фібрили** (від лат. *фібрилла* — волоконце), що сплітаються одна з одною в товсті нитки (*мал. 186*). Цей будівельний принцип використовується при виготовленні канатів: спочатку тоненькі ниточки сплітають у мотузки, а потім мотузки — в канати. Іншим механізмом зміцнення клітинної оболонки є насичення сплетення фібрил спеціальною речовиною — **лігніном**.

Завдяки такій мікроструктурі клітинної стінки, а також через те, що фібрили у волокні розташовуються паралельно одна до одної, міцність волокна бавовнику можна порівняти з міцністю сталі. Певний порядок



Мал. 186.
Різні типи (1–3) целюлозних фібрил

розміщення фібрил у волокнах клітинної оболонки визначає рівномірність зафарбовування рослинних тканин — фарбник заповнює проміжки між фібрилами, сполучаючись із молекулами целюлози.

Одне волоконце бавовнику містить близько 10 млрд. молекул целюлози, які складаються з 60 квадрильйонів ($6 \cdot 10^{25}$) молекул глюкози, і це дуже мала частина рослини. Приклад ілюструє масштаби і точність біологічного синтезу — потужний біологічний конвеєр запобігає браку.

Ще однією функцією клітинної оболонки рослин є обмеження надходження води всередину клітини. Целюлозна оболонка не перешкоджає проникненню води у клітину. Гідростатичний тиск води на клітину дорівнює 5–10 атмосфер. Цей тиск створює напругу в клітинній стінці — **тургор** (від лат. *тугор* — набрякаю), який надає тілу рослини пружності, а трав'янисті рослини завдяки йому мають вертикальне стебло. (*Тепер ви розумієте, чому рослини в разі нестачі води в'януть.*)

Важливу роль відіграє клітинна оболонка в розпізнаванні і контактуванні клітин одна з одною.

У клітин тварин над плазматичною мембраною розташований поверхневий шар завтовшки в декілька десятків нанометрів. Його називають **глікокаліксом** (від лат. *глікіс* — солодкий і *каллюм* — товста шкіра). Він складається з білків, зв'язаних із вуглеводами і, частково, зі сполук ліпідів з вуглеводами. Глікокалікс приєднується до плазматичної мембрани і забезпечує безпосередній зв'язок клітин з навколишнім середовищем. Через нього клітина сприймає подразники. Завдяки наявності ферментів глікокалікс може брати участь у позаклітинному травленні. Крім того, глікокалікс забезпечує зв'язок між клітинами.

Що таке підмембранні комплекси клітин. До підмембранних комплексів клітин належать різноманітні структури білкової природи: мікронитки і мікротрубочки, які складають цитоскелет, тобто виконують опорну функцію. Елементи цитоскелета також сприяють закріпленню у певному положенні органел і їх переміщенню в клітині.

Мікронитки — тонкі (діаметром 4–7 нм) ниткоподібні структури, які складаються зі скоротливих білків (актину, міозину та ін.). Вони пронизують цитоплазму і беруть участь у зміні форми клітини. Пучки мікрониток одним кінцем прикріплюються до однієї структури (наприклад, плазматичної мембрани), а другим — до іншої (певної органели, молекули біополімерів).

Мікротрубочки — це циліндричні структури діаметром від 10 нм до 25 нм, які беруть участь у формуванні веретена поділу еукаріотичних клітин, а також у

внутрішньоклітинному транспортуванні речовин та входять до складу війок, джгутиків тощо.

Невід'ємною частиною кожної клітини є її поверхневий апарат, який складається зі структур, розташованих над плазматичною мембраною (надмембранні комплекси), самої мембрани, а також деяких структур, під нею (підмембранні комплекси). Головне їх призначення — це захист і опора клітини, механічне поєднання клітин у тканини і забезпечення контакту між ними. У клітинах прокаріотів, грибів і рослин плазматична мембрана ззовні вкрита клітинною стінкою. У тваринних клітинах над плазматичною мембраною розташований поверхневий шар — глікокалікс.

Перевірте себе

1. Чому життя клітини неможливе без поверхневого апарату?
2. З чого складається поверхневий апарат клітини?
3. Перелічіть функції клітинної оболонки рослин.
4. Що таке глікокалікс і які його функції?
5. У чому полягає принципова відмінність глікокаліксу тваринних клітин і клітинних стінок у рослин?

Як ви вважаєте?

1. Чому основою «міжклітинного клею» у природі є полісахариди, а не жири чи білки?
2. Чому в рослин, грибів і тварин поверхневий апарат побудований з різних речовин?
3. Чому рослини і гриби нерухомі, а тварини, як правило, дуже жваві істоти?

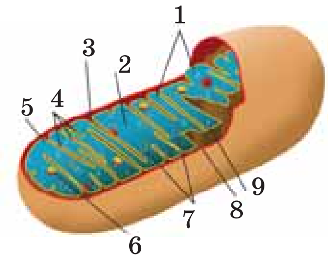
§38. ДВОМЕМБРАННІ ОРГАНЕЛИ: МІТОХОНДРІЇ І ПЛАСТИДИ

Терміни та поняття: мітохондрії, кристи, матрикс, клітинне дихання, пластиди, хлоропласти, хлорофіл, тилакоїд, грани, строма, лейкопласт, хромопласти, каротиноїди, пропластида, меристема, симбіотопічне походження.

Мітохондрії та їх функції в клітині. Ми вже згадували, що мітохондрії і пластиди не мають просторових зв'язків з іншими мембранними компонентами клітини. **Мітохондрії** (від грец. *мітос* — нитка і *хондріон* — зерно) присутні майже в усіх еукаріотичних клітинах. Виняток становлять внутрішньоклітинні паразитичні одноклітинні тварини — мікроспоридії. Вони є своєрідними «енергетичними паразитами», оскільки використовують для своїх потреб енергію клітини хазяїна.

Мітохондрії мають вигляд кулястих тілець, паличок, ниток (завдовжки від 0,5 до 10 мкм і більше) (*мал. 187*). Іноді мітохондрії розгалужуються (наприклад, у клітинах найпростіших, м'язових волокнах). Кількість цих органел у клітині різна: від 1 до 100 000 і більше. Вона залежить від того, наскільки активно в клітині відбуваються процеси обміну речовин. У клітинах зелених рослин мітохондрій менше, ніж у клітинах тварин, оскільки їх функції (синтез АТФ) виконують і хлоропласти.

Поверхневий апарат мітохондрій складається з двох мембран. Зовнішня мембрана гладенька. Вона відмежовує цю органелу від гіалоплазми. Внутрішня мембрана утворює випинання всередину мітохондрії у вигляді трубчастих чи гребінчастих утворів — **крист**. Кристи мають різне розташування і часто розгалужуються. Між зовнішньою і внутрішньою мембранами мітохондрій є щілина завширшки 10–20 нм. На поверхні внутрішньої мембрани, оберненій всередину мітохондрії, є особливі грибоподібні утвори — АТФ-соми (від грец. *сома* — тіло). Вони містять комплекс ферментів, необхідних для синтезу АТФ.



Мал. 187. Схема будови мітохондрії: 1 — молекули АТФ-синтетази; 2 — матрикс; 3 — мембранний простір; 4 — кристи; 5 — рибосоми; 6 — гранули; 7 — ДНК; 8 — зовнішня мембрана; 9 — внутрішня мембрана

Внутрішній простір мітохондрій заповнений напіврідкою речовиною — матриксом. У ньому містяться молекули ДНК, іРНК, тРНК, рибосоми, гранули, утворені солями Кальцію і Магнію.

Основна функція мітохондрій — синтез АТФ. Цей процес відбувається за допомогою енергії, яка вивільняється під час окиснення органічних сполук. Початкові етапи цих процесів відбуваються у матриксі, а наступні, зокрема синтез АТФ, — у внутрішній мембрані.

Кисень проникає в мітохондрії, де він вступає в багатоступінчасту реакцію з різними поживними речовинами — білками, вуглеводами тощо. Цей процес називається **клітинним диханням**. В результаті виділяється хімічна енергія, яку клітка запасає в особливій речовині — аденозинтрифосфатній кислоті, або АТФ. Це універсальний накопичувач енергії, яку організм витрачає на ріст, рух, підтримку своєї життєдіяльності.

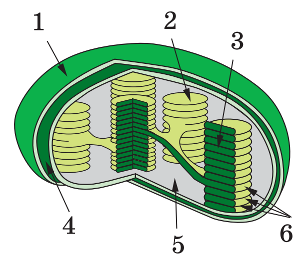
Мітохондрії в клітині постійно оновлюються. Наприклад, у клітинах печінки тривалість життя мітохондрій становить приблизно 10 діб.

> Кількість мітохондрій залежить від активності клітини, її енергетичних витрат. З тієї самої причини змінюється їх кількість і в процесі онтогенезу: в молодих ембріональних клітинах вони більш численні, ніж у відносно старих постембріональних.

Що таке пластиди. **Пластиди** (від грец. *пластос* — виліплений) належать до особливого класу органел, які властиві лише рослинам і бувають кількох типів. Плас-

тиди рослин мають єдине походження, подібну будову і можуть взаємоперетворюватися. Головна їх особливість — це подвійна мембрана і наявність молекули ДНК, що має форму кільця. Нові пластиди утворюються шляхом поділу навпіл старих. Як і в мітохондрій, зовнішня мембрана виконує захисну і транспортну функції, а внутрішня утворює складну систему мембран, на яких відбуваються складні біохімічні процеси.

Усі реакції фотосинтезу проходять в особливих пластидах зеленого кольору — **хлоропластах** (*мал. 188*) (від грец. *хлорос* — зелений і *пластос* — виліплений), що пов'язано з наявністю в них особливого пігменту, який має назву **хлорофіл** (від грец. *хлорос* — зелений і *філлон* — листок). Вони містяться в цитоплазмі клітин листків, стебел, плодів, оцвітини й інших клітин органів рослин зеленого кольору. Їх добре видно у світловий мікроскоп (їх розміри 2–5 мкм), найчастіше вони овальної форми (*мал. 189*). Кожна клітина має від 20 до 40 хлоропластів.



Мал. 188.

Будова *хлоропласту*:
1 — зовнішня мембрана;
2 — грани;
3 — хлорофіл;
4 — внутрішня мембрана;
5 — строма;
6 — тилакоїди

Як і всі інші пластиди, хлоропласт оточений подвійною мембраною і має складну внутрішню систему мембран. Основною структурою хлоропластів є **тилакоїд**, який складається з одношарової мембрани, за формою нагадує плаский мішечок і містить хлорофіл. Тилакоїди складені в стоси, наче монети. Ці структури називаються **гранами**. Весь простір між ними заповнений рідкою речовиною — матриксом, який у хлоропластів називається **стромою** (від грец. *строма* — підстилка). Хлоропласти містять рибосоми, ДНК, ферменти, вони здатні синтезувати білки, ліпіди і крохмаль, що зумовлює їх відносну незалежність від інших клітинних структур. У хлоропластах містяться також крохмальні зерна і жирові включення, які являють собою енергетичний запас клітини. Під впливом різних чинників, а також під час старіння клітини внутрішня структура хлоропластів спрощується і вони перетворюються на пластиди інших типів.

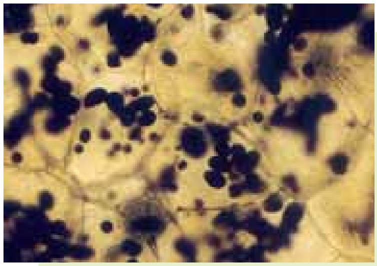


Мал. 189.

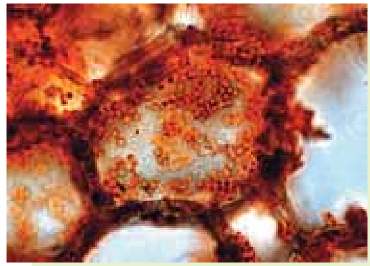
Хлоропласти під світловим мікроскопом

Лейкопласти (від грец. *лейкос* — білий і *пластос* — виліплений) — це безбарвні пластиди. Як правило, вони концентруються в незабарвлених підземних частинах рослин, а також у насінні, стрижні стебла. Лейкопласти можуть містити різні речовини (білки, крохмаль), що зумовлює їх просту будову (*мал. 190*). Такі пластиди не мають тилакоїдної організації. Під дією світла лейкопласти здатні перетворюватися на хлоропласти.

Хромопласти (від грец. *хрома* — колір і *пластос*) містять пігменти **каротиноїди**. Вони утворюються з хлоропластів та лейкопластів, бувають оранжевого, червоного або коричневого кольору (*мал. 191*) і відповідно забарвлюють квітки, старі листки, плоди і навіть корені рослин (*при-*



Мал. 190.
Лейкопласти в клітинах бульби картоплі



Мал. 191.
Хромопласти в клітинах червоного перцю

гадайте моркву). На відміну від хлоропластів, внутрішній простір хромопластів не має складної системи мембран, лише зустрічаються окремі тилакоїди. Хромопласти не здатні перетворюватися на хлоропласти та лейкопласти.

Усі пластиди утворюються з **пропластид** (від грец. *протос* — перший і *пластиди*), які містяться в клітинах **меристеми** (від грец. *меріcтос* — той, що здатний ділитися). (*Пригадайте, це та тканина, за рахунок якої відбувається ріст рослини й утворюються всі інші тканини.*) На світлі у пропластидах починається синтез хлорофілу і водночас утворюється складна система внутрішніх мембран — вони перетворюються на хлоропласти. В темряві розвиток йде іншим шляхом — у пластиді не синтезується хлорофіл і не утворюються тилакоїди: вона стає лейкопластом. Однак, якщо клітину, що розвинулась у темряві, піддати дії світла, в ній утворяться нормальні тилакоїди і вона стане хлоропластом (*мал. 192*).

Автономність мітохондрій і пластид. При вивченні особливостей будови, хімічного складу, розмноження і функціонування хлоропластів і мітохондрій в них можна побачити багато спільного і те, що властиве для клітини в цілому. Вони мають зовнішній покрив, що складається з двох шарів мембрани. В них є свій власний генетичний апарат (молекула ДНК). Вони синтезують специфічні білки і РНК, які не синтезуються в інших частинах клітини, і які входять до складу їх мембран. Мітохондрії і пластиди утворюються шляхом поділу. Як і у випадку з клітинами, де реалізується принцип «кожна клітина — від клітини», нові пластиди і мітохондрії утворюються за рахунок поділу навпіл старих, тобто реалізується принцип: кожна мітохондрія — від мітохондрії, а пластиди — від пластид.

Саме функціональна автономність мітохондрій і пластид, особливості їх будови й утворення нових шляхом поділу нагадують примітивних прокаріотів, що дало підставу висунути гіпотезу про їх **симбіотопічне поход-**

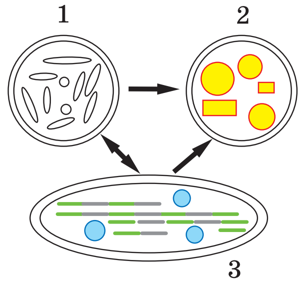
ження. (*Пригадайте, що таке симбіоз.*) Відповідно до цього припущення, колись дрібні примітивні бактерії вторглися, подібно до паразитів, у тіло більших і, можливо, прогресивно побудованих бактерій, а потім улаштувалися там подібно до того, як це роблять паразити в тілі хазяїна. Згодом ці бактерії-паразити настільки удосконалилися в процесі еволюції, що перетворилися на частини клітини хазяїна, без яких ці клітини вже не можуть жити. Причому мітохондрії утворилися від певних дрібних гетеротрофних бактерій, а пластиди — від стародавніх синьо-зелених водоростей (ціанобактерій).

Мітохондрії — це двомембранні органели клітини, що містять молекули ДНК, в яких відбувається тканинне дихання.

Пластиди — особливі двомембранні органели рослинних клітин. Саме в хлоропластах, одному із різновидів пластид, що містять хлорофіл, відбувається процес фотосинтезу. Пластиди і мітохондрії в клітині мають певну автономність. Це дає підставу вважати, що вони виникли внаслідок симбіозу.

Перевірте себе

1. Чому одні клітини містять лише кілька мітохондрій, а інші — тисячі?
2. Які функції у мітохондрій виконують зовнішня і внутрішня мембрани?
3. За рахунок чого відбувається клітинне дихання?
4. Які типи пластид здатні до перетворення, а які — ні?



Мал. 192.
Взаємоперетворення різних типів пластид:
1 — лейкопласт;
2 — хромопласт;
3 — хлоропласт

Як ви вважаєте?

1. Чому окиснення органічних речовин в мітохондріях, при якому вивільняється значна кількість енергії, відбувається без значного підвищення температури матриксу?
2. Чому з лейкопласту можуть утворюватися хлоропласти, а з хромопласту — ні?
3. Чому симбіотопічне походження пластид та мітохондрій залишається лише науковою гіпотезою?

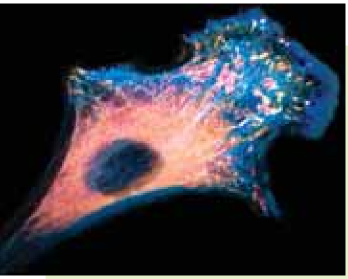
§39. НЕМЕМБРАННІ ТА СПЕЦІАЛЬНІ ОРГАНЕЛИ. ВКЛЮЧЕННЯ

Терміни та поняття: цитоскелет, мікротрубочки, тубулін, мікрофіломенти, тонофібрили, міофібрили, протофібрили, актин, міозин, включення, полісоми.

Крім органел, тіло яких утворене клітинною мембраною, кожна еукаріотична клітина має органели, що складаються з білків. Ці немембранні органели викону-

ють функції опори клітини, забезпечують її рух, відіграють важливу роль у поділі клітин і в обміні речовин.

Що таке опорно-руховий апарат клітини. Кожна клітина, особливо тваринна, яка не має твердої клітинної стінки, підтримує форму свого тіла завдяки рухливому клітинному каркасу — **цитоскелету** (*мал. 193, 196*), який побудований зі спеціальних білків і міститься в цитоплазмі. В цитоскелеті виділяють три структурних елементи, які можна розгледіти лише в електронний мікроскоп. Це білкові нитки, які в процесі клітинного життя збираються в складні структури, а потім швидко розпадаються на окремі молекули. Завдяки такий динаміці цитоскелет безперервно перебудовується, що зрештою і є основою для зміни клітиною своєї форми і обумовлює її рух.



Мал. 193. Цитоскелет клітини

Мікрофіламенти складаються з білка актину, вони присутні в цитоплазмі всіх еукаріотичних клітин без винятку, де збираються в пучки і утворюють сітку. Головна особливість цих структур — здатність скорочуватися. Мікрофіламенти беруть безпосередню участь у змінах форми клітини, прикріпленні клітин до субстрату, вони забезпечують амебоїдний рух певних клітин і рух цитоплазми в рослинних клітинах, а також виконують ряд інших специфічних функцій.

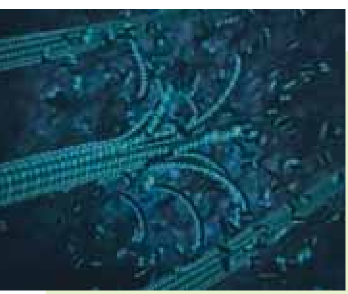


Мал. 194. Мікротрубочка в момент її зборки з молекул тубуліну

У сукупності микрофіламенти становлять скорочувальний апарат клітини, що забезпечує різні види рухів:

- переміщення органел;
- потік гіалоплазми;
- зміна клітинної поверхні;
- утворення псевдоподій і переміщення клітини.

Мікротрубочки — порожні циліндри (зовнішній діаметр — 24 нм, внутрішній — 15 нм), є самостійними органелами, утворюючи цитоскелет, або ж входять до складу інших органел (центріолей, війок, джгутиків). Стінки мікротрубочки побудовані із глобулярного білка *тубуліна* (*мал. 194, 195*), що складається з окремих округлих утворень — глобул, діаметром 5 нм. Такі глобули можуть перебувати в гіалоплазмі у вільному стані або ж, під впливом певних факторів, з'єднуватися між собою й формувати мікротрубочки, а потім знову розпадатися. Так формуються, а потім розпадаються мікротрубочки *веретена поділу* в різні фази мітозу. Однак, у складі центріолей, війок і джгутиків мікротрубочки є стійкими утвореннями. Більша частина мікротрубочок бере участь у формуванні внутрішньоклітинного каркаса, що обумовлює форму клітини, спричиняє певне положення органел у цитоплазмі, а також визначає напрямок внутрішньоклітинних переміщень. Білки тубуліна не мають здатності до скорочення, а отже й мікротрубочки не скорочуються. Однак у складі війок і джгутиків

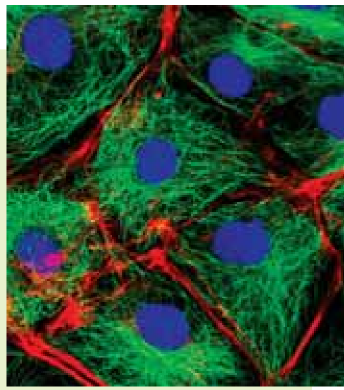


Мал. 195. Мікротрубочка, що розпадається на окремі молекули тубуліну

відбувається взаємодія між мікротрубочками та ковзання відносно одна одної, що й забезпечує їх рух.

Мікрофібрили або **проміжні філаменти** — тонкі (10 нм) нев'юнкі нитки, що локалізуються переважно в підмембранному шарі цитоплазми. Вони складаються з білка, але різного в різних клітинах (в епітеліальних клітинах — *кератину*, у фібробластах — віментину, у м'язових клітинах — десмину тощо). Функціональна роль мікрофибрил полягає в участі, поряд з мікротрубочками, у формуванні клітинного каркаса, виконуючи опорну функцію. У деяких клітинах (епідермоцити шкіри) мікрофибрили поєднуються в пучки й утворюють тонофібрили, які розглядаються як спеціальні органели, що виконують роль опори.

Органели спеціального призначення. **Джгутики** — це органи клітинного руху, що являють собою цитоплазматичні вирости клітини, вони властиві бактеріям, спорам водоростей, джгутиковим. Напевно, найвідоміший джгутик належить сперматозоїду, його довжина сягає 100 мкм. За своєю будовою джгутик — це стрижень, вкритий продовженням клітинної оболонки, він складається з 9 подвійних, що розташовуються по периферії, і 2 одинарних центральних тонких ниток, які побудовані з білків, подібних до білків м'язів тварин. Їх через особливості будови умовно називають мікротрубочками.



Мал. 196.
Розташування елементів цитоскелета (синій колір) у клітині

Ще одним органом клітинного руху є війки. Раніше вважали, що джгутики і війки — зовсім різні утвори. Однак електронномікроскопічні дослідження показали, що вони дуже схожі і відрізняються лише за розмірами. Зазвичай клітина має один чи два джгутики або кілька тисяч війок. В основі кожного джгутика чи війки знаходиться базальне тільце, яке за своєю будовою і функцією є гомологом центросоми.

У скелетних і серцевих м'язових клітинах обов'язково є особливі мікронитки — **міофібрили** (від грец. *міо* — м'яз), які відіграють головну роль при скороченні м'язових клітин. Як з'ясувалося за допомогою електронного мікроскопа, міофібрили складаються ще з більш тонких волокон — **протофібрил** (від грец. *протос* — перший і *фібрила*). Причому розрізняють тонші протофібрили, що складаються з білка **актину** і товстіші — **міозину**. Саме взаємодія цих білків і приводить до м'язових скорочень.

Що таке клітинні включення. Будь-які відкладення речовин, що на певному етапі не беруть участі в обміні речовин або є кінцевими його продуктами, називають **включеннями**. Вони не належать до числа сталих структур цитоплазми клітини. Відповідно до її функціонального стану — то зникають, то з'являються знову. Ці речовини — крапельки жиру, зерна крохмалю і глікогену, кристалики

білка — відкладаються в цитоплазмі «про запас» або є нерозчинними у воді солями, які виводяться з обміну речовин. Їх легко розгледіти у світловий мікроскоп.

Зовні вони являють собою цупкі зернятка, крапельки або кристалики. Включення утворюються з речовин, отриманих у результаті біосинтезу.

Велика кількість **ліпідних крапель** трапляється у цитоплазмі деяких найпростіших, зокрема інфузорій. У ссавців ці краплини, як правило, трапляються у спеціалізованих жирових клітинах у сполучній тканині. Іноді вони відкладаються внаслідок патологічних процесів, наприклад, під час переродження печінки. Краплі жиру зустрічаються у клітинах майже всіх рослинних тканин, особливо багато їх у насінні деяких рослин. (*Пригадайте їх назви.*)

Включення полісахаридів різних розмірів мають, як правило, гранулярну форму. У багатоклітинних тварин і найпростіших у цитоплазмі трапляються відкладення глікогену, гранули якого добре видно навіть у світловий мікроскоп. Особливо великі скупчення спостерігаються у волокнах посмугованих м'язів, у клітинах печінки, нейронах. Щодо крохмалю, то, крім картоплі, значну його кількість містять зерна злаків, причому форма включень специфічна як для кожного виду рослин, так і для певних тканин.

Білкові включення можна зустріти набагато рідше, ніж ліпідні та вуглеводи. (*Як ви вважаєте, чому?*) Найтиповіша їх «схованка» — яйцеклітини, де вони мають різноманітну форму: пластинок, кульок, паличок, однак зустріти їх можна і в цитоплазмі клітин печінки, і навіть у клітинах найпростіших.

До клітинних включень відносять також **пігменти**. Зокрема, жовтий і коричневий пігмент тканин — *ліпофусцін*, кулясті гранули якого накопичуються у процесі життєдіяльності клітин, особливо під час старіння.

Варто згадати інший пігмент жовтого та червоного кольору — *ліпохром*. Він зберігається у вигляді дрібних крапель у клітинах коркової речовини надниркових залоз та окремих клітинах яєчників.

Пігмент *ретинін* входить до складу зорового пурпуру сітківки ока. Наявність деяких пігментів пов'язана з виконанням клітинами особливих функцій, достатньо пригадати чорний пігмент *меланіну* в клітинах покривних тканин тварин.

Рибосоми — особливі органели, побудовані з РНК і білків. Рибосоми є обов'язковими компонентами будь-якої клітини. Більше всього рибосом у тих клітинах, де найактивніше відбуваються фізіологічні процеси. Їх біологічна функція полягає у синтезі білків. Рибосоми можна розгледіти лише в електронний мікроскоп. В

еукаріотичній клітині вони містяться в цитоплазмі, але більшість — у мембранах ендоплазматичної сітки. У прокаріот рибосоми значно менші за розмірами і містяться головним чином у цитоплазмі.



Кожна рибосома складається з двох різних за розміром частин, що функціонують як єдине ціле (*мал. 197*). Окремі рибосоми можуть з'єднуватися в групи — **полісоми** (від грец. *полі* — багато і *сома* — тіло). Рибосоми складаються зі специфічних рибосомальних білків і рибосомальної РНК. (*Пригадайте, які існують типи РНК.*) Цікаво, що жодна молекула, яка входить до складу рибосом, не повторюється двічі.

Цитоплазма еукаріотичної клітини включає цілу низку органел, які не мають мембранної структури, а побудовані з білків. Вони виконують функцію клітинного каркасу, забезпечують рух клітини і цитоплазми, відіграють ключову роль в обміні речовин, зокрема в біосинтезі білків. Крім того, існують органели спеціального призначення, які притаманні клітинам з певними специфічними властивостями.



Мал. 197.
Рибосома, що рухається по РНК

Перевірте себе

1. Що є структурною основою цитоскелета?
2. Завдяки чому здійснюється рух цитоплазми?
3. За якого стану клітини збільшується кількість включень?
4. Чому група органел спеціального призначення отримала таку назву?

Як ви вважаєте?

1. Каркас рослинної клітини утворює жорстка клітинна стінка. Тоді навіщо рослинній клітині ще й мікротрубочки, які є основною структурною одиницею цитоскелета?
2. Чому мікротрубочок і мікрофіламентів немає в прокаріотичних клітинах?
3. Чому органела рибосома отримала таку назву?

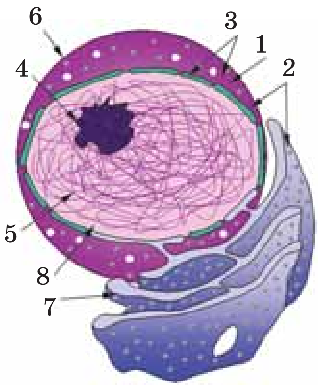
§40. КЛІТИННЕ ЯДРО: БУДОВА І ФУНКЦІЇ

Терміни та поняття: ядро, ядерна оболонка, хроматин, ядерце, хромосоми, ядерцевий організатор, каріоплазма (ядерний сік), нуклеоїд.

Який вигляд має ядро. Еукаріотична клітина відрізняється від прокаріотичної наявністю **ядра**, у якому міститься ДНК, що утворює генетичний апарат клітини. Ядро зазвичай розміщується в центрі клітини і

займає близько 20 % її об'єму. У круглих клітинах воно має кулеподібну форму, у видовжених — еліпсоподібну, а ядрам деяких лейкоцитів або клітин павутинних залоз павуків притаманна химерна форма: вони здатні поділятися на кілька сегментів, що сполучаються, тому їх називають багатолопатевими.

Більшість клітин має одне ядро, але трапляються й багатоядерні клітини. В інфузорії туфельки клітина містить два ядра: велике й мале. Одне з них бере участь у метаболічних процесах, а інше є місцем зберігання спадкової інформації. У міцелію грибів (грибниці) між клітинами зникають поперечні стінки, тому утворюється одна величезна клітина з великою кількістю ядер. Подібна структура спостерігається і в клітинах посмугованої м'язової тканини, які виникли внаслідок злиття багатьох клітин. Багатоядерні клітини є в кістковому мозку і в печінці людини, де відбувається інтенсивний синтез білків. Відомі й без'ядерні клітини. Зокрема, юні еритроцити ссавців на момент свого дозрівання втрачають ядро, після чого живуть близько 120 днів і не здатні до розмноження (поділу). У клітинах деревини, з яких утворюються спеціальні капілярні трубки, що слугують для транспортування води від коренів до листків, відбувається відмирання цитоплазми й ядра. Оболонки цих клітин поступово набирають спеціальної речовини, відтак у клітинах гасне життя, і вони перетворюються на міцні механічні структури. (*Наведіть приклади різної форми та кількості ядер у клітинах різноманітних тканин різних організмів. Поясніть ці факти.*)



Мал. 198.
Схема будови ядра:
1 — ядерна оболонка;
2 — рибосоми;
3 — ядерні пори;
4 — ядерце;
5 — хроматин;
6 — ядро;
7 — ендоплазматична сітка;
8 — каріоплазма

Ядро як апарат керування клітиною. Майже відразу після відкриття ядра (*пригадайте, хто і коли вперше описав ядро*), ще до формування клітинної теорії, висловлювалися припущення щодо провідної ролі ядра у процесах росту й розвитку клітини та організму. Наступні дослідження й спеціальні експерименти на живих клітинах підтвердили це припущення й довели, що ядро є центром керування клітиною. Найвідоміші такі експерименти:

- якщо із заплідненого яйця жаби одного виду мікрохірургічним шляхом видалити ядро, а на його місце помістити ядро жаби іншого, досить близького виду, то із цього ядра розів'ється жабеня другого, а не першого виду;
- якщо в амеби акуратно видалити ядро, вона житиме від одного дня до двох тижнів і протягом цього часу не здатна рости й ділитися. Якщо ж видалити цитоплазму, залишивши лише невелику облямівку навколо ядра, то протягом одного-двох тижнів цитоплазма відновиться й амеба житиме і розмножуватиметься, як і раніше. Цей експеримент довів, що клітина без ядра не здатна не лише розмножуватися, а й жити тривалий час.

(*Чи відомі вам інші експерименти, результати яких підтверджують провідну роль ядра у клітині?*)

Які функції ядра в клітині. Ви вже знаєте, що ядро зберігає спадкову інформацію і забезпечує її передачу від материнської клітини дочірнім. Саме з молекул ДНК за участю молекул іРНК інформація про структуру білків переноситься до місця їхнього синтезу на мембранах зернистої ендоплазматичної сітки. Спадкова інформація, що зберігається в ядрі, може змінюватись унаслідок мутацій. Це забезпечує спадкову мінливість.

У ядрі за участю ядерець формуються частини рибосом. Як ви вже знаєте, ці органели беруть участь у синтезі білків. Таким чином, завдяки реалізації спадкової інформації, закодованої у вигляді послідовності нуклеотидів молекули ДНК, ядро регулює біохімічні, фізіологічні та морфологічні процеси, які відбуваються в клітині.

Будова ядра. Ядро складається з компонентів, що є неодмінними для всіх клітин, а отже, має загальний план будови. У ядрі розрізняють: **ядерну оболонку**, **хроматин** (від грец. *хрома* — колір), **ядерце** і **каріоплазму** (від грец. *каріон* — ядро і *плазма*) (*мал. 198, 199*).

Ядерна оболонка добре помітна у світловий мікроскоп, вона має вигляд чіткої темної межі, що проходить навколо ядра. В електронний мікроскоп ядерну оболонку можна розглянути детально. Вона складається з двох шарів елементарної плазматичної мембрани (зовнішньої, яка є продовженням ендоплазматичної сітки, та внутрішньої), між ними знаходиться порожнина. Ядерна оболонка містить отвори — пори (*мал. 200*), які в жодному разі не є дірками в загальному розумінні, а мають певну складну структуру, і організовані спеціальними білками. Крізь пори до цитоплазми клітини надходять молекули іРНК і рибосоми. При цьому крізь ядерну оболонку в обох напрямках відбувається дифузія іонів і низькомолекулярних сполук.



Мал. 199.
Мікрофотографії клітин, у яких добре помітні ядра

Хроматин — це щільна речовина ядра, що зазвичай має вигляд переплутаних тонких ниток, які можна побачити навіть у світловий мікроскоп. Детальне вивчення їх структури за допомогою арсеналу сучасних методів виявило, що хроматин нагадує намисто, намистинки якого — це специфічні білки, а нитки — молекули ДНК. Під час поділу клітини, коли відбувається руйнування ядерної оболонки, нитки хроматину ущільнюються, коротшають, і у світловий мікроскоп можна побачити компактні щільні структури — **хромосоми** (від грец. *хрома* — колір і *сома* — тіло) (*мал. 201*).

Ядерце — добре помітне у світловий мікроскоп овальне або округле тільце, що міститься в середині ядра, воно не має власної мембранної оболонки. У ядрі може бути кілька ядерець, і відповідно до стану клітини їх

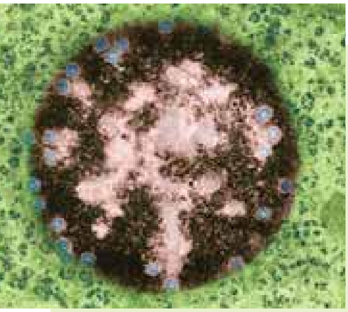
кількість змінюється. У молодих клітинах, де обмін речовин інтенсивніший, кількість ядерець завжди більша. Ядерця розміщуються в певному місці ядра — **ядерцевих організаторах**.

За даним цитохімічних та біохімічних досліджень основним компонентом ядерця є білок: на його долю припадає близько 70–80 % від сухої ваги. Окрім білку у складі ядерця було виявлено нуклеїнові кислоти: РНК (5–14 %) та ДНК (2–12 %).

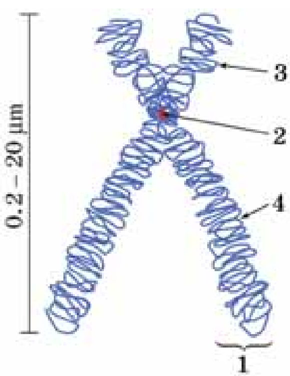
У 50–х роках XX століття при вивченні ультраструктури ядерець в їх складі було виявлено гранули, подібні за своїми якостями з цитоплазматичними гранулами рибонуклеопротеїдної природи, з рибосомами.

Каріоплазма (ядерний сік) — це напіврідка безструктурна рідина, яка заповнює порожнину між хроматином і ядерцями. У ній містяться білкові фібрили і молекули РНК.

Що собою являє генетичний апарат прокаріотів. Клітини прокаріотів мають лише **нуклеоїд** (від лат. *нуклеус* — ядро і грец. *еідос* — вид) — структуру, подібну ядра еукаріотів — «ядерну область», позбавлену будь-яких мембран і яка розміщується не в центрі клітини, а біля зовнішньої оболонки. Незважаючи на те, що нуклеоїд не має постійної форми, його можна добре розгледіти в електронний мікроскоп, а також при спеціальному забарвленні розпізнати під світловим мікроскопом. Генетичний матеріал прокаріотів — це молекула ДНК, що має замкнену кільцеву форму. Крім того, до складу нуклеоїда також входять РНК і білки, серед останніх — білки, що упаковують ДНК, як гістони в ядрі еукаріотичної клітини.



Мал. 200. Мікрофотографія ядра за допомогою електронного мікроскопа, на якій добре помітні ядерні пори (блакитний колір)



Мал. 201. Схема будови хромосоми на початку клітинного поділу:
1 — кінцева частина;
2 — центромера;
3 — коротке плече;
4 — довге плече.
Звичайно хромосома складається з однієї молекули ДНК, однак перед поділом клітини вона обов'язково має подвійну структуру

Ядро зберігає спадкову інформацію і забезпечує її передачу від материнської клітини дочірнім. Від цитоплазми ядро відокремлене подвійною мембраною і містить ДНК та спеціальні білки, з яких формується хроматин.

У прокаріотів є подібна до ядра структура — нуклеоїд, яка являє собою одну замкнену в кільце молекулу ДНК.

Перевірте себе

1. Що являє собою ядро і чому ця органела має таку назву?
2. Які експерименти довели, що ядро — це апарат для керування клітиною?
3. У чому полягають особливості будови ядерної оболонки?
4. Де відбувається синтез рРНК?
5. Що таке нуклеоїд?

Як ви вважаєте?

1. Чому ядро називають ще «центром керування» клітиною?
2. Чому ядра різних клітин відрізняються за своєю формою?
3. Чому у бактерій в ході еволюції так і не виникло ядро?

§41. ХРОМОСОМИ Й КАРІОТИП

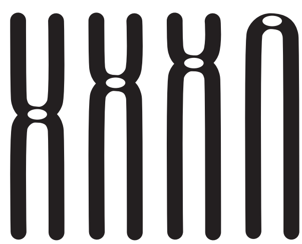
Терміни та поняття: хромосома, гістони, генетичний (спадковий) апарат, центромери, хромосомний набір, соматичні клітини, каріотип, гаплоїдний і диплоїдний набори хромосом, статеві хромосоми, аутосоми, хромосомні хвороби, мутація, гомогаметна та гетерогаметна статі.

Що таке хромосома. Хромосома — це елемент ядра, що складається з хроматину, основу якого становить ДНК, і білків **гістонів**. Спадкова інформація організму міститься в ДНК. Образно можна сказати, що вся ДНК клітини поділена на шматочки, згорнуті таким чином, що утворюють щільні структури — **хромосоми**. Отже, сукупність хромосом ядра формує **генетичний (спадковий) апарат** клітини. Хромосоми наявні лише в еукаріотів (*мал. 202*), тоді як у прокаріотів весь генетичний апарат представлений лише однією молекулою ДНК, замкненою в кільце. На різних етапах життя клітини хромосоми мають різну форму. Коли здійснюється поділ клітини, хромосоми перебувають у дуже ущільненому стані (спіралізуються). Коли клітини не діляться, хромосоми розплітаються і мають вигляд довгих тонких ниток. Особливу роль у хромосомах відіграють гістони — білки з лужними властивостями. Саме вони щільно сполучаються з ДНК і в першу чергу визначають форму і її укладання в хромосомі.



Мал. 202.
Такий вигляд має хромосома слинних залоз комах в електронному мікроскопі

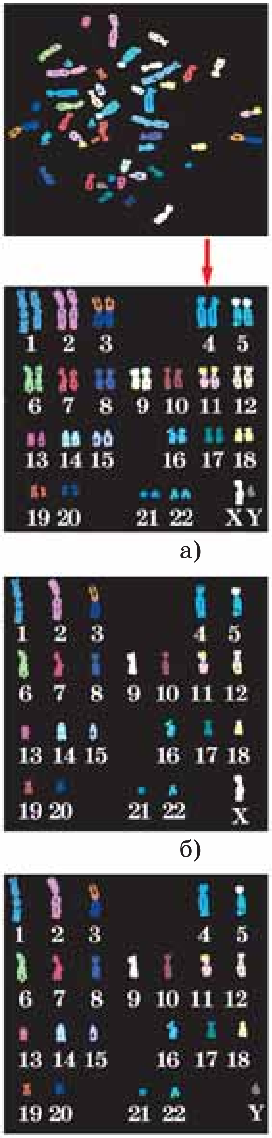
Будова хромосоми залежить від положення особливої перетяжки — **центромери** (від *центр* і грец. *мерос* — частина), яка поділяє її на дві частини — плечі. Відповідно до розміщення центромери розрізняють чотири головних типи хромосом (*мал. 203*): *метацентричні*, коли центромера поділяє хромосому на дві рівні частини; субметацентричні, коли поділяє хромосому на два нерівних плеча: акроцентричні, коли центромера розташовується майже на кінці хромосоми і хромосома має одне велике і одне майже непомітне плече і телоцентричні — паличкоподібні хромосоми з центромерою на самому кінці хромосоми.



а) б) в) г)

Мал. 203.
Різні типи хромосом на початку клітинного поділу:
а — метацентрична;
б — субметацентрична;
в — акроцентрична;
г — телоцентрична

Що таке хромосомний набір. У ядрі клітин усіх еукаріотів міститься не одна, а кілька хромосом, кількість яких змінюється залежно від виду організму від 4 до 200



Мал. 204. Каріотип людини: *а* — диплоїдний набір хромосом; *б* — жіночий гаплоїдний набір хромосом; *в* — чоловічий гаплоїдний набір хромосом

(інколи буває і більше), що складають **хромосомний набір**. При цьому кожна хромосома клітини унікальна. Річ у тому, що хромосоми різняться не тільки за своєю будовою, але й за розмірами і, наприклад, метацентрічні хромосоми в клітині можуть бути відмінні за своєю довжиною в кілька разів. При цьому немає жодних підстав вважати, що дрібні хромосоми для організму менш важливі, ніж величезні.

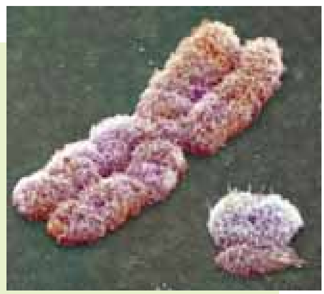
У різних, навіть зовні дуже подібних видів тварин і рослин, кількість хромосом, як правило, відрізняється. Причому певної логіки і очевидного функціонального сенсу в цьому немає. Якщо ж кількість хромосом у різних видів однакова, то їх хромосоми можуть відрізнятися за формою — замість рівноплечої може бути нерівноплеча, а якщо вони нерівноплечі, то будуть відрізнятися за довжиною плечей. Ці ознаки хромосомного набору (кількість хромосом, їх будова і форма), за якими набір хромосом одного виду відрізняється від іншого, називають **каріотипом** (від грец. *каріон* — ядро, *типос* — зразок) (*мал. 204*). **Соматичні** (від грец. *сома* — тіло) клітини, з яких, власне, і складається тіло будь-якого багатоклітинного організму, зберігають усі ознаки хромосомного набору, властиві певному біологічному виду — їх кількість і індивідуальність.

Чим відрізняється хромосомний набір статевих клітин. Статеві клітини містять удвічі менше хромосом, ніж соматичні клітини. Такий набір хромосом у статевих клітинах називають **гаплоїдним** (від грец. *гаплоос* — одинарний і *ейдос* — вигляд), на відміну від **диплоїдного** (від грец. *діплоос* — подвійний і *ейдос*) — подвійного набору хромасом соматичних клітин, одна частина з яких походить від материнської гамети, а інша — від батьківської. При цьому всі хромосоми чітко паруються, тобто кожній хромосомі материнського організму є чітко відповідна за будовою і розміром хромосома батьківського, яка називається *гомологічною* (від грец. *гомолос* — відповідний) *хромосомою*. Наприклад, хромосомний набір людини складається з 23 пар гомологічних хромосом, серед яких є 4 пари метацентричних, 11 субметацентричних, 7 акроцентричних і одна пара так званих **статевих хромосом**.

Більшість організмів на Землі мають диплоїдний набір хромосом. Однак є і винятки, зокрема, самці бджіл, на відміну від самок, мають гаплоїдний набір хромосом, крім того, зустрічаються комахи, риби, ссавці, самці яких мають на одну хромосому менше, ніж самки. Причина проста: у таких самців є одна дуже мала за розмірами хромосома, яка зливається з однією з великих хромосом і тому здається, що в них на одну хромосому менше. Крім того, зустрічаються популяції, які складаються виключно із самок (досить звичайними для наших водойм є одностатеві популяції *карася сріблястого*), які

мають три гаплоїдні набори і кількість хромосом у них кратна трьом. Розмножуються такі триплоїдні самки без участі самців — шляхом *партеногенезу* (від грец. *партенос* — незаймана і *генезис* — народження), тобто без запліднення. (*Пригадайте, які ще відомі вам тварини розмножуються партеногенезом.*)

Статеві хромосоми й визначення статті. У хромосомному наборі клітин роздільностатевих тварин, тобто у яких є особини і чоловічої, і жіночої статі (*пригадайте, що таке гермафродитизм і яким тваринам він притаманний*), майже завжди наявна спеціальна пара хромосом, де локалізовані гени, що визначають стать. Ці хромосоми називаються **статевими**, тоді як інші — це **аутосоми**. Зовні статеві хромосоми настільки відрізняються від інших, що їх легко впізнати. Ще наприкінці XIX ст. вчені, розглядаючи хромосомні набори комах, побачили відмінності у структурі хромосом самців і самок. У самок було дві великі, добре помітні метацентричні хромосоми, а в самців — тільки одна така хромосома, а замість другої великої — крихітна «хромосомка», що нагадувала велику крапку. Надалі такі відмінності в каріотипах були виявлені у багатьох інших видів тварин. Спочатку функція цих хромосом була незрозумілою, а тому велику назвали X-хромосомою, а дрібну — Y-хромосомою (*мал. 205*). Як надалі було встановлено, у людини і мушки дрозофіли X-хромосома містить чинники жіночої статі, а Y-хромосома — чоловічої. Якщо особина має дві X-хромосоми, які вона отримує від гамет батька й матері, то це — самка, якщо X і Y (X — від матері й Y — від батька), то це — самець. Але, як відомо, з усякого правила є свій виняток. У коників та інших прямокрилих комах самці не мають Y-хромосоми, яка, мабуть, настільки мала, що просто злилася з однією з аутосом. А в птахів **гетерогаметною**, тобто такою, що має XY-хромосомний набір, є жіноча стать, а чоловіча стать — **гомогаметна** (XX).



Мал. 205.
Так схематично виглядає співвідношення між статевими хромосомами, які, як це не парадоксально, є однаковими за походженням, тобто гомологічними

Стабільність каріотипу й хромосомні хвороби. Відхилення від нормальної кількості або нормального виду хромосом завжди веде до аномального розвитку індивідуума. Патології, викликані порушеннями хромосом (їх кількості або будови), називаються **хромосомними хворобами**. Одна з найбільш відомих хромосомних хвороб — **сидром Дауна**, причиною якої є неправильний набір хромосом, зокрема, зайва третя хромосома 21-ї пари, — у результаті в клітинах такої людини міститься не 46, а 47 хромосом. У рідкісних випадках хворі із синдромом Дауна мають у своєму каріотипі 46 хромосом. Виявляється, це спадкове захворювання може також бути викликаним порушенням будови — **мутацією** (від лат. *мутаціон* — зміна) хромосоми цієї пари, при якій вона подовжується. Вік матері впливає на народження

дитини із синдромом Дауна. Так, серед немовлят, матері яких старші за 45 років, синдром Дауна зустрічається в 100 разів частіше, ніж серед немовлят, матері яких молодші за 20 років. При цьому частота випадків синдрому Дауна майже не залежить від віку батька, а також кількості вагітностей, що передували.

Крім синдрому Дауна, існує ще багато хромосомних хвороб, які викликаються збільшенням кількості хромосом різних пар. Так, додаткова хромосома по п'ятій парі викликає «синдром котячого лементу» (неправильний розвиток гортані спричиняє порушення голосу немовляти), а додаткова по 22-й парі — «сидром Sturge-Weber».

Хромосомні хвороби можуть бути викликані змінами кількості статевих хромосом. Синдром Шерешевського-Тернера виявляють у жінок з відсутністю однієї Х-хромосоми (ХО). Такі особини відстають у розвитку і рості, нездатні мати дітей і розумово неповноцінні. Синдром Клайнфельтера (XXY) — коли в хромосомному наборі чоловіка присутні дві Х-хромосоми. Для таких індивідуумів характерний високий зріст, довгі кінцівки, порушення розвитку статевих ознак, безплідність, розумова відсталість. Слід зазначити, що ще рідше мають місце випадки, коли з'являється не одна, а дві зайві Х-хромосоми. Такі особини з XXXY-набором хромосом мають уроджений порок серця, аномалії внутрішніх органів, недорозвинення статевих органів і розумову відсталість.

Особливо слід зазначити, що хромосомні хвороби не піддаються лікуванню.

Описані синдроми — це випадки, коли порушення каріотипу і структури хромосом не призводить до смерті, а тільки пригнічує життєдіяльність, і, з урахуванням досягнень сучасної медицини, такі індивідууми виживають немовлятами, а потім живуть відносно довго. Однак переважна більшість порушень кількості й структури хромосом є **летальними** (від лат. *леталіс* — смертельний), і особини-носії з такими порушеннями гинуть ще ембріонами.

Якщо в риб поява триплоїдних особин — явище досить звичайне і такі особини цілком життєздатні, то серед людей триплоїди майже не зустрічаються. Науці відомий лише єдиний такий випадок, що був описаний у важкохворого хлопчика віком одного року, який страждав на сильне розумове і фізичне недорозвинення.

Особливу небезпеку викликають вторинні порушення структури хромосом, що виникають у соматичних клітинах особин з нормальним каріотипом. Виявляється, що саме порушення хромосомного апарата є однією з головних причин виникнення ракових клітин.

Чому виникає хромосомна хвороба у конкретної людини — дотепер достеменно не зрозуміло. З одного

боку, вважається, що в цьому випадку має місце теорія імовірності, тобто на кожні 10–15 тисяч чоловік, через випадкові причини, буде обов'язково з'являтися одна така особина. З іншого, не викликає сумнівів, що негативні зміни в навколишньому середовищі, забруднення хімічне і радіологічне, неякісна сурогатна їжа і напої, паління, алкоголь і наркотики неодмінно призводять до підвищення ризику народити неповноцінну дитину.

Генетичний апарат клітини формується набором хромосом, що відрізняються формою й розмірами. Кожний вид організмів характеризується своїм особливим набором хромосом. Каріотип певного виду — хромосомний набір клітини, який характеризується сталістю кількості й індивідуальністю хромосом. У клітинах, з яких побудовані тіла організмів, міститься подвійний набір хромосом, а в статевих клітинах — одинарний. Приналежність особини до певної статі визначається співвідношенням особливих статевих хромосом. Порушення кількості й структури хромосом призводить до хромосомних хвороб, які не піддаються лікуванню.

Перевірте себе

1. Що таке хромосома й каріотип?
2. Що собою являє гаплоїдний та диплоїдний набори хромосом?
3. Яка стать у людини гомогаметна, а яка — гетерогаметна?
4. Що являють собою хромосомні хвороби?

Як ви вважаєте?

1. Хромосомне визначення статі є у тварин, а у рослин цього немає. Чому?
2. Чому хромосомні хвороби не піддаються лікуванню?
3. Чому особини із зайвою хромосомою страждають на розумову відсталість?

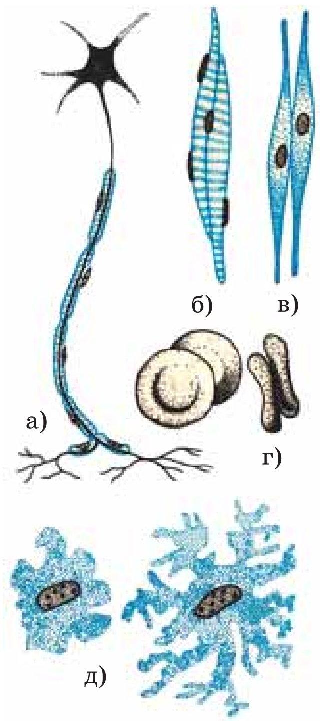
§42. РІЗНОМАНІТНІСТЬ КЛІТИН БАГАТОКЛІТИННОГО ОРГАНІЗМУ

Терміни та поняття: зигота, зародкові листки, ектодерма, ентодерма, мезодерма, диференційна активність генів, диференціація клітинна, тотипотентність, вегетативне розмноження, регенерація, клон.

Чому в багатоклітинному організмі клітини побудовані по-різному. Для того щоб ефективно жити й розмножуватися, багатоклітинний організм повинен складатися

із клітин, які можуть виконувати різні функції. Якщо це тварина, то її клітини повинні: рухати тіло або окремі його частини; захищати його від механічних ушкоджень і патогенних мікроорганізмів; брати участь у травленні і виділенні; синтезувати біологічно активні речовини (гормони); здійснювати транспортування речовин або їх запасання; регулювати і координувати роботу різних органів; розмножуватися.

Очевидно, що клітини, які виконують настільки різні функції, мають бути спеціалізованими й пристосованими до вирішення конкретного завдання. Це досягається шляхом формування великої кількості клітин, які відрізняються різноманітною будовою, розмірами і формою (*мал. 206*). Адже тільки такий «оркестр», що складається з великої кількості різних «музикантів», може зіграти складну симфонію.



Мал. 206. Клітини людини різноманітні за формою і будовою: *а* — нервова клітина (нейрон); *б* — посмугована м'язова клітина; *в* — гладенька м'язова клітина; *г* — еритроцити; *д* — меланоцити — клітини шкіри, що містять пігмент меланін

Яким чином в одному організмі утворюються такі різні клітини. Багатоклітинний організм бере початок із **зиготи** — заплідненої яйцеклітини, або зі спори — спеціальної клітини, призначеної для розмноження (*пригадайте, в якому випадку новий організм бере початок ані зі спори, ані з зиготи*). При дробленні зиготи утворюються однакові клітини. Проте, відповідно до збільшення кількості клітинних поділів і формування зародка, відбувається спеціалізація клітин. Починається процес із формування трьох клітинних шарів, які називаються **зародковими листками**: зовнішній шар клітин — **ектодерма**, внутрішній — **ентодерма** й проміжний — **мезодерма**. (*Пригадайте, у яких тварин уперше з'являється третій зародковий листок.*) З ектодерми утворюються покриви й органи чуття, з ентодерми — органи дихальної й травної систем, а з мезодерми — органи, що об'єднують тіло у єдине ціле, зокрема опорно-рухова система.

У кожній клітині «працюють» далеко не всі гени, властиві даному виду організмів, а тільки їх незначна частина. Причому в кожній функціональній групі клітин активні як специфічні гени, так і такі, що активні в усіх клітинах організму. Тому, незважаючи на те, що генетичний матеріал під час поділу розподіляється порівну між двома дочірніми клітинами, у процесі розвитку зародка в новоутворених клітинах проявляють активність ті або інші групи генів. Це явище називається **диференційною активністю генів**. Саме в такий спосіб клітини починають відрізнятися одна від одної. Наступні клітинні поділи приводять до подальшої диференціації роботи генів, при цьому в клітинах зупиняється синтез одних білків і починається продукування інших. З урахуванням того, що білки — це не тільки структурні компоненти клітинної мембрани, але й регулятори хімічних реакцій, що протікають у клітині (*пригадайте, як назива-*

ються біологічні каталізатори), набір синтезованих у даній клітині ферментів зрештою і визначає склад речовин, який властивий даній групі клітин. Ці речовини у свою чергу визначають особливості будови й форми клітин, а також їх функції в організмі. Таким чином, вибіркове «включення» тих або інших генів у процесі клітинних поділів зародка й приводить до появи клітин зі специфічною структурою та функціями. Цей процес утворення спеціалізованих клітин називається **диференціацією**.

Що значить тотипотентність клітини. Якщо припустити, що кожна диплоїдна клітина має повний набір генетичного матеріалу, а відмінності між соматичними клітинами одного організму на генетичному рівні полягають тільки в тому, які гени в них працюють і які білки синтезуються, то теоретично з кожної клітини тіла може розвинутися новий організм. Треба змусити «ввімкнутися» потрібні гени. Цю властивість соматичних клітин давати початок новому організму називають **тотипотентністю** (від лат. *тотус* — цілий, сукупний та *потентіа* — сила, міць, можливість). Однак клітини деяких організмів не втрачають здатність за певних умов відновлювати тотипотентність, а людська зигота не втрачає цю здатність протягом перших 7 діб свого розвитку, і в цей період із будь-якої клітини можна виростити нову повноцінну людину.

З тотипотентності клітин виникає така особливість багатоклітинних організмів, як здатність до розмноження частинами свого тіла — **вегетативне розмноження**. Тому сама можливість такого способу розмноження є доказом того, що в кожній клітині тіла зберігається весь генетичний матеріал. Вегетативне розмноження властиве більшості рослин і проявляється в різних формах. (*Пригадайте способи вегетативного розмноження квіткових рослин.*) У тварин розмноження частинами свого тіла (брунькування) зустрічається тільки в досить низькоорганізованих тварин — губок (*мал. 207*), кишковопорожнинних, плоских і багатощетинкових червів. Тварини з надійним і твердим скелетом і розвиненими системами внутрішніх органів (круглі черви, членистоногі, молюски, хребетні) не здатні до вегетативного розмноження.



Мал. 207.
Губки — тварини, що здатні відновити тіло з декількох клітин

З явища тотипотентності випливає здатність організмів до **регенерації** (від лат. *регенераціо* — відродження, відновлення). Так, багато видів рослин, зокрема бегонія, здатні відтворити цілу рослину зі шматочка листка, а багато садових рослин (троянда, смородина) розмножують черенками — невеликими пагонами із двома-трьома листками. Процес розвитку нової рослини йде особливо швидко, якщо його стимулювати спеціальними біологічно активними речовинами.

І серед тварин є багато таких, хто здатний повністю відновити все своє тіло з будь-якої його незначної частини. (*Пригадайте, чому гідра отримала таку назву.*) Більшість тварин такими феноменальними здібностями не володіють, хоча можуть відновити частини свого тіла. Коропи чи карасі без проблем регенерують відрізані плавці або здерту луску, тритони і ящірки відрощують хвіст. У ссавців здатності до регенерації не втратили тільки тканини, у яких постійно відбуваються клітинні поділи, — сполучна й епітеліальна, тоді як м'язова й нервова не відновлюються. Тому в людини регенерує шкіра й печінка, зростаються кістки, але виростити собі ногу або навіть палець замість ампутованого вона не зможе.

Регенерація — біологічний процес, що підлягає оберненій пропорційності: чим примітивніше організована тварина, тем більші фрагменти тіла вона може відновити. Тому, коли ви страждаєте в стоматологічному кабінеті й розмірковуєте про примхливості біології, яка не дозволяє людині регенерувати зуб, утіште себе думкою про те, що відсутність регенерації цілого органа — це незаперечне свідчення того, який високий щабель еволюційного розвитку ви займаєте.

Експериментальні докази тотипотентності клітин були отримані ще у 50-ті роки XX ст. У цих дослідженнях із клітини епітелію кишечнику пуголовка жаби за допомогою спеціальних маніпуляцій вилучали ядро, яке потім підсаджували в яйцеклітину жаби, з якої попередньо видаляли ядро. Якщо операція проходила вдало, то яйцеклітина починала ділитися, і з неї розвивався пуголовок, а в деяких випадках навіть виходили дорослі жаби, які нічим не відрізнялися від тих, що з'явилися на світ звичайним шляхом. Хоча більшість таких клітинно-інженерних утворень мали очевидні аномалії розвитку і досить низьку життєздатність. Таким чином, на прикладі жаб було доведено, що в ядрах соматичних клітин зберігається вся необхідна для розвитку організму інформація. Схожі експерименти проводилися й на рослинах. Наприклад, зовсім здорові рослини моркви, які здатні до розмноження, отримували з невеликої кількості клітин флоемної паренхіми (*пригадайте з курсу ботаніки, що це за тканина*), які, однак, необхідно було стимулювати до поділу спеціальними речовинами.

Ці маніпуляції із клітинами, що тепер стали звичайними для добре оснащеної цитологічної лабораторії, дають підстави вважати: коли з будь-якої клітини зняти обмеження, що на неї накладаються цілісним організмом, то вона може реалізувати увесь свій генетичний потенціал, перетворившись на новий організм. Але виявилося, що це не зовсім так. Дійсно, для рослин і багатьох тварин подібні експериментальні рішення цілком реальні, але для висо-

коорганізованих тварин, таких, як наприклад ссавці, перенесення ядра епітеліальної клітини в яйцеклітину з наступним розвитком зародка усередині материнського організму виявилося досить складним. Найбільш відомим випадком клонування ссавця з ядер соматичної тканини є вівця Доллі (*мал. 208*). У 277 яйцеклітин були пересаджені ядра, які взяли з епітелію вимені тварини-донора. З них утворилося 29 ембріонів, один з яких і вижив.

Здається, як це заманливо: одержати **клон** — серію генетично ідентичних особин із епітеліальних клітин людини, яка має величезний талант — геніального музиканта, художника або вченого. Але такий шлях вирішення проблем неможливий в принципі. В соматичних клітинах за період їх життя накопичується стільки мутацій, що навіть якби сурогатні матері й виносили дітей з клітин геніїв людства, то такі нащадки не просто були б мало схожими зі своїми геніальними батьками, а, найімовірніше за все, мали генетичні відхилення, через які довго не жили б. Як і вівця Долі, яка прожила тільки 6,5 років.

Деяким клітинам багатоклітинного організму властива тотипотентність — здатність давати початок цілому організму внаслідок клітинної диференціації. Хоча усі вони походять від однієї клітини — зиготи, однак відрізняються від неї набором працюючих генів, які і визначають сукупність хімічних реакцій, що протікають у даній клітині й ті хімічні речовини, які в ній утворюються і накопичуються.

Усі без винятку клітини, з яких побудовано тіло багатоклітинного організму, тотипотентні — вони мають однаковий набір генів. Саме тому із груп соматичних клітин рослин і деяких тварин у природних умовах, а з одиничних клітин або їх ядер — у лабораторних — можна виростити новий організм.



Мал. 208. Вівця Доллі

Перевірте себе

1. Що таке клітинна диференціація?
2. Як можна легко довести, що соматична клітина містить усю сукупність генетичної інформації?
3. Яким чином експериментально доводиться тотипотентність клітин?

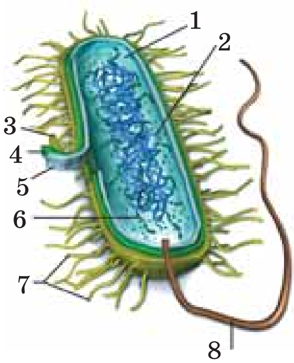
Як ви вважаєте?

1. Чи всі організми, що складаються із мільйонів клітин є по-справжньому багатоклітинними?
2. Відмінності між клітинами організму визначаються відмінностями наборів працюючих генів, а що визначає їхню спільність?
3. Які моральні проблеми викликає ідея клонування людей?

§43. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БУДОВИ КЛІТИН ПРОКАРІОТІВ І ЕУКАРІОТІВ

Терміни та поняття: бактерії, імперія Доядерні, надцарство Прокаріоти, царство Бактерії, імперії Ядерні, надцарство Еукаріоти, муреїн, капсула, нуклеоїд, плазміда, ооміцети, фітофтора, протисти.

Усе різноманіття живих істот поділяється на дві великі групи. Перша — це **імперія Доядерні**, до якої належить **надцарство Прокаріоти**, до нього, у свою чергу, відноситься **царство Бактерії**. До другої належать представники **імперії Ядерні**, **надцарства Еукаріоти** і декількох царств. (*Пригадайте, які є точки зору відносно кількості і складу царств еукаріотичних організмів*).



Мал. 209. Будова бактеріальної клітини: 1 — цитоплазма; 2 — нуклеоїд; 3 — капсула; 4 — стінка; 5 — цитоплазматична мембрана; 6 — рибосома; 7 — пілі; 8 — джгутик

Що собою являють бактерії. **Бактерії** — це одноклітинні і колоніальні організми, за розміром найменші серед тих, що зараз живуть на Землі. Довжина їхніх клітин коливається в межах 0,001–0,02 мм, а ширина — 0,0002–0,001 мм. Вони в тисячі разів менші за клітину інфузорії або евглени. Бактерії мають різну форму: сферичну (коки), паличкоподібну (бацили) і спіралеподібну (спірохети). Ці мікроскопічні істоти здатні пересуватися. Паличкоподібні і спіралеподібні бактерії рухаються завдяки джгутикам, які складаються лише з однієї мікротрубочки (*пригадайте будову джгутиків у еукаріотів*), інші повзають за рахунок виділення слизу. Серед бактерій є автотрофні і гетеротрофні істоти, здатні жити як у кисневому, так і у безкисневому середовищі.

Бактеріальна клітина (*мал. 209*) має тверду міцну оболонку, яка складається з **муреїну** — особливої сполуки поліпептидної природи. Крім того, клітинна стінка зовні покрита слизовою **капсулою** (від лат. *капсула* — коробочка), утвореною з полісахаридів. Вона надійно захищає тіло клітини від зовнішніх впливів. Плазматична мембрана, яка оточує живу частину клітини, у бактерій виконує транспортну і захисну функції та є опорою для вмісту клітини. Цитоплазма не має мембранних органел (мітохондрій, пластид, ендоплазматичної сітки, апарату Гольджі), а також чітко оформленого ядра. Генетичний апарат прокаріотів — **нуклеоїд** — це нитка ДНК, що має форму кільця, яка кріпиться до плазматичної мембрани. При цьому ДНК не утворює міцних постійних сполук із білками, тому у бактерій немає хроматину і постійно відбувається синтез РНК. Ферменти, що каталізують процеси дихання й фотосинтезу, зосереджені біля внутрішньої поверхні клітинної мембрани. Переважна частина інших ферментів розподілена по цитоплазмі. Єдині органели, що вільно

лежать у цитоплазмі, — це рибосоми. Їх розміри значно менші, ніж в еукаріотів.

Крім того, у цитоплазмі бактерій розташовані невеликі молекули дволанцюгової ДНК, згорнутої в кільце, — **плазміди** (від грец. *плазма* — виліплений).

Порівняльний аналіз будови клітин прокаріотів і еукаріотів. Еукаріотичні організми не тільки крупніші за прокаріотичні, але й організовані значно складніше (*табл. 9*). Це досягається, перш за все, за рахунок поділу цитоплазми клітинної мембрани на функціональні відсіки. Такий «розподіл праці» приводить до значно більш ефективної роботи всієї клітини. Крім того, на відміну від прокаріотів, у еукаріотів є багато «нових» органел. Це, перш за все, мітохондрії, пластиди і ядро, обмежені двома шарами клітинної мембрани. Генетичний апарат еукаріотів — це хромосоми, які являють собою з'єднання білків, і молекули ДНК, тоді як у прокаріотів —

Таблиця 9.
Характерні ознаки прокаріотичних і еукаріотичних клітин

Ознаки	**Прокаріоти**	**Еукаріоти**
Плазматична мембрана	наявна	наявна
Цитоплазма	наявна	наявна
Ядро	відсутнє	наявне
Ендоплазматична сітка	відсутня	наявна
Апарат Гольджі	відсутній	наявний
Лізосоми	відсутні	наявні
Вакуолі	відсутні (*виключення*: газові вакуолі, або аеросоми у водних прокаріот)	наявні
Поверхневий апарат	клітинна оболонка з муреїну і слизова капсула	клітинна оболонка з клітковини — у рослин і хітину — у грибів, глікокаліксу — у тварин
Фотосинтетичний апарат	фотосинтетичні пігменти	пластиди у рослин, грибів і тварин відсутні
Мітохондрії	відсутні	наявні
Клітинний центр	відсутній	є тільки у тварин і деяких рухливих водоростей
Джгутики	побудовані з однієї мікротрубочки	побудовані з мікротрубочок, розташованих за схемою 9 + 2
Поділ	простий	складний (непрямий)

одна нитка ДНК. У еукаріотичних організмів крупніші не тільки клітини, але і гомологічні органели, наприклад рибосоми. Внаслідок цього хімічні реакції в еукаріотичних клітинах протікають не тільки швидше, але й, що найголовніше, одночасно відбувається більша кількість різноманітних перетворень хімічних сполук. Саме це зрештою приводить до більш високого рівня ефективності функціонування клітин еукаріотів.

Єдине, у чому еукаріоти поступаються прокаріотам, так це — у швидкості клітинних поділів. У бактерій відбувається так званий простий поділ, тоді як у еукаріотів це досить складний процес, викликаний наявністю значної кількості хромосом. Тому бактерія ділиться у середньому кожні 20 хвилин. За умови безперешкодного поділу, одна бактеріальна клітина у відповідних умовах спроможна протягом шести годин утворити 250 000 клітин, а протягом шести діб її потомство заповнило б Світовий океан. Стає зрозумілим, чому навіть незначна кількість патогенних бактерій через 2–3 дні після проникнення в організм спричинює смертельне захворювання. Проте, на щастя, бактерії не здатні постійно так швидко розмножуватися, оскільки збільшення їх кількості стримується дефіцитом їжі, відходами власного метаболізму, які отруюють бактерію, а також захисними силами організму.

Чим відрізняються клітини головних груп еукаріотичних організмів. Усі еукаріотичні організми поділяють на царства, представники яких кардинально відрізняються один від одного способом живлення і життя. На початку всіх еукаріотів поділяли на дві великі групи — рослини і тварини. Принцип такої класифікації був дуже простим: рухливі — тварини, нерухливі — рослини. При цьому рослини поділяли на дві неформальні групи — нижчі та вищі рослини. До першої групи також включали і гриби. Така точка зору проіснувала до середини XX ст. Саме тоді почали використовувати ознаки клітинної будови як критерій приналежності до одного з царств еукаріотичних організмів, а гриби були виділені в окреме царство.

Таким чином, у другій половині XX ст. почали виділяти три царства еукаріотів, представники яких мають свої ознаки клітинної будови. Причому ці особливості не просто відповідають типам живлення і способам життя, а й формують їх. Така система також далека від досконалості, оскільки на одноклітинному рівні організації існує велика кількість перехідних організмів між тваринами, рослинами та грибами.

До царства Рослини відносять організми, які за способом живлення є автотрофами-фотосинтетиками. Вони не здатні до активного руху, у них немає для цього спеціальних тканин і органів. У клітинах рослин обов'язково є фотосинтетичний апарат — пластиди, що

містять пігмент хлорофіл, а клітини закуті в щільні оболонки, відтак не здатні змінювати свою форму.

До царства Тварини відносять організми, які за способом живлення — гетеротрофи, а також активно рухаються за допомогою м'язової тканини і спеціальних органів. Тому їхні клітини не мають ані фотосинтетичного апарату, ані клітинних оболонок, вони легко змінюють свою форму, що дає можливість організму рухатися.

До царства Гриби відносять гетеротрофні нерухливі організми. Особливості їх живлення і способу життя відповідають специфіці будови клітин. Вони позбавлені фотосинтетичного апарата, проте мають щільні клітинні оболонки. Крім того, рослини і гриби відрізняють за деякими особливостями складу клітинних речовин. У грибів, як і у тварин, основним вуглеводом є глікоген, а у рослин, у тому числі й водоростей, — крохмаль. Клітинні оболонки в них побудовані з тієї самої речовини, що й кутикула у комах, — з хітину. Хоча є і винятки: виявилося, що в нижчих грибів — **ооміцетів**, до яких належить безжалісний шкідник картоплі й томатів **фітофтора**, — клітинна оболонка, як і у рослин, побудована із клітковини. Тому останнім часом «колишні гриби» — ооміцети — розглядають як **протисти** (від грец. *протеус* — найперший) — особлива група, до якої зараз відносять не тільки всіх одноклітинних еукаріотів, але й багатоклітинні водорості. Це ще один приклад того, якою хиткою серед примітивних первинних форм є межа між царствами еукаріотів.

Класифікація живих істот на великі систематичні одиниці — імперії, надцарства й царства — здійснюються за ознаками клітинної будови. При цьому особливості будови клітини визначають тип живлення і спосіб життя представників цих великих систематичних груп.

Перевірте себе

1. За якими критеріями поділяють живі об'єкти на систематичні групи?
2. У чому полягають особливості будови бактерії?
3. Назвіть головні відмінності будови про- й еукаріотичної клітин?
4. Які головні ознаки на рівні клітини відрізняють представників трьох царств еукаріотів?

Як ви вважаєте?

1. Що важливіше для організму: швидкість клітинних поділів чи досконалість роботи клітини? Чому?
2. Чому серед багатоклітинних організмів немає істот, які поєднували б ознаки тварин і рослин, тобто мали пластиди і лабільні клітинні оболонки?